radio
PRAKTIKER
bücherei

OTTO PAUL HERRNKIND

Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren

ihr Aufbau und ihre Schaltungen

Die **Cellu-Bände** der Radio-Praktiker-Bücherei

Preis je Nr. 2.50 DM, Mehrfach-Nr. entsprechend. Preisänderungen vorbehalten.

Vorläufiges Verzeichnis: Verlangen Sie bitte ausführliche Verzeichnisse!

1 ***Endröhren- und Endstufen-Transistoren und ihre Schaltungen*** (H. Sutaner). 3. Auflage. 72 Seiten, 45 Bilder, 3 Tabellen.

3/5 **UKW-FM-Rundfunk-Praktikum** (Herbert G. Mende). 6. Aufl., 172 Seiten, 82 Bilder, 13 Tab.

6 **Antennen für Rundfunk und Fernseh-Empfang** (Herbert G. Mende). 11. Aufl., 68 Seiten, 36 Bilder, 8 Tab.

7/8 **Niederfrequenzverstärker mit Röhren und Transistoren** (Fritz Kühne). 12. Auflage, 128 Seiten, 100 Bilder.

9/10 **Tonbandgeräte-Praxis** (Wolfgang Junghans). 9. Aufl., 128 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen.

11/12 **Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone.** Aufbau, Verwendung und Selbstbau (Fritz Kühne). 7. Auflage, 116 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen.

13 **Schliche und Kniffe für Radiopraktiker** Teil I. Erfahrungen aus Werkstatt und Labor (Fritz Kühne). 9. Aufl., 64 Seiten, 56 Bilder. *

14 **Wellen und Frequenzen für Rundfunk und Fernsehen.** Erzeugung, Ausbreitung und Bereichsaufteilung (Gustav Büscher). 4. Aufl., 72 Seiten, 57 Bilder, 20 Tabellen.

16 **Widerstandskunde für Radio-Praktiker.** Die Festwiderstände in Berechnung und Anwendung (Georg Hoffmeister). 5. Auflage, 72 Seiten, 9 Bilder, 2 Nomogr. und 6 Zahlentafeln.

18/19 **Radio-Röhren** (Herbert G. Mende). 3. Aufl., 132 Seiten, 66 Bilder, 2 Tab.

20 **Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern.** (Dr. A. Renardy). 10. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

21/21a **Funktechniker lernen Formelrechnen** (Fritz Kunze). 6. Aufl., 128 S., 42 B.

22/23a **Lehrgang Radiotechnik Band I** (Ferd. Jacobs). 9. Aufl., 184 S., 151 Bilder.

24/25a desgl. **Band II** (Ferdinand Jacobs). 6. Aufl., 192 S., 150 Bilder, 3 Tab.

26 **Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio** (Fritz Kühne). 4. Aufl., 68 Seiten, 33 Bilder, 6 Tabellen.

27/27a **Rundfunkempfang ohne Röhren.** Vom Detektor zum Transistor (Herbert G. Mende). 12. Aufl., 128 Seiten, 94 Bilder, 9 Tabellen. *

28/28b **Die Glimmröhre und ihre Schaltungen** (O. P. Herrnkind). 5. Auflage, 192 Seiten, 288 Bilder.

29/30 **Kleines ABC der Elektroakustik** (Gustav Büscher). 5. Aufl., 148 Seiten, 131 Bilder, 52 Tabellen.

31/39 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** I. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 9. Aufl., 128 S., 56 Bilder.

33/35 **Dioden-, Röhren- und Transistorvoltmeter** (Ing. Otto Limann). 7. Aufl., 176 Seiten, 160 Bilder.

37/38 **Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung** (Dr. A. Renardy). 5. Aufl., 140 Seiten, 67 Bilder, 2 Tabellen.

41/41a **Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure** Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Werner W. Diefenbach). 10. Auflage, 128 Seiten, 122 Bilder, 10 Tabellen.

42/42b desgl. **Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger** (Werner W. Diefenbach). 148 Seiten, 105 Bilder, 9 Tab.

43 **Musikübertragungs-Anlagen.** Planung, Aufbau und Wartung (Fritz Kühne). 4. Aufl., 72 Seiten, 39 Bilder, 11 Tabellen.

44 **Kurzwellen-Amateurantennen** für Sendung und Empfang (W. W. Diefenbach). 7. Aufl., 80 Seiten, 94 Bilder, 10 Tabellen.

45/46 **UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure** (Ing. H. F. Steinhauser). 6. Aufl., 136 S., 90 Bilder.

47/47a **Reiseempfänger mit Transistoren** (H. Sutaner). 4. Aufl., 128 Seiten, 86 Bilder und Schaltungen.

50 **Praktischer Antennenbau** (Herbert G. Mende). 11. Aufl., 72 Seiten, 38 Bilder, 9 Tabellen.

55/56 **Fernsehtechnik von A bis Z** (K. E. Wacker / Joachim Conrad). 5. Aufl., 136 Seiten, 65 Bilder, 12 Tabellen. *

58 **Morselehrgang** (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

59 **Funk-Entstörungs-Praxis** (Herbert G. Mende). 4. Aufl., 72 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

60 **Die Widerstand-Kondensator-Schaltung.** Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Reinhard Schneider). 5. Aufl., 68 Seiten, 58 Bilder, 3 Tab.

62/62a **Englisch für Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. W. Stellrecht und Dipl.-Ing. P. Miram). 3. Aufl., 112 Seiten.

66/67 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** II. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 5. Aufl., 128 Seiten, 52 Bilder.

68/70 **Formelsammlung für den Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. Georg Rose). 10. Aufl., 168 Seiten, 183 Bilder. *

* In Vorbereitung.

Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite

Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren

ihr Aufbau und ihre Schaltungen

Von

OTTO PAUL HERRNKIND

Mit 228 Bildern

5., neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

C. Emil Mayer KG

Heft 28/28b der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Cellu-Band

Das Umschlagbild zeigt Glimmröhren verschiedener Art und Größe
(Aufnahme: Carl Stumpf)

1968

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: C. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne

Vorwort zur 5. Auflage

Wie bereits aus dem erweiterten Titel „Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren, ihr Aufbau und ihre Schaltungen" zu ersehen ist, wurde die Neuauflage, dem letzten Entwicklungsstand entsprechend, vollständig umgearbeitet. Neu aufgenommen sind u. a. Ziffernanzeigeröhren, während die Abschnitte über Glimmrelaisröhren und Glimmröhren-Zählschaltungen eine wesentliche Erweiterung erfuhren.

Wie bei den vorangegangenen Auflagen enthält auch der vorliegende Band an Theorie nur das Wenige, das zum Verständnis der praktisch-technischen Auswertung der Glimmentladung unerläßlich notwendig ist. In erster Linie dient die Schrift dem Praktiker, ihm soll ein möglichst umfassender Überblick über die vielseitige Verwendung der Glimmröhren und der Kaltkatoden-Relaisröhren in der Elektrotechnik und Elektronik vermittelt werden. Dabei wendet sich die Veröffentlichung nicht allein an alle diejenigen, die sich zum ersten Mal mit Glimmröhren beschäftigen, sondern sie versucht, auch dem erfahrenen Fachmann und Praktiker noch manche Hinweise und Anregungen zu geben.

Der schon heute so breite und sich noch ständig weiter ausdehnende Anwendungsbereich der Glimmröhren wie auch der Kaltkatoden-Relaisröhren macht es unmöglich, im Rahmen eines solchen Taschen-Bandes alle Verwendungsmöglichkeiten dieser Röhren bis ins einzelne auszuschöpfen. Wer sich von den Lesern mit einem ganz speziellen Anwendungsgebiet näher beschäftigen möchte, der sei auf die Literatur und auf die ausführlichen Daten- und Informationsblätter verwiesen, die von den Röhrenherstellern für Interessenten bereitgehalten werden.

Der Verfasser dankt allen Entwicklungsstellen und Industrieunternehmen, die ihm freundlicherweise Unterlagen und Schaltungen zur Verfügung gestellt haben. Besonderer Dank gilt dem Franzis-Verlag für das verständnisvolle Eingehen auf die vielseitigen, manchmal sehr schwierigen Wünsche und Vorschläge des Verfassers.

Für neue Anregungen und Verbesserungsvorschläge ist der Verfasser jederzeit dankbar.

Berlin 15 — Otto Paul Herrnkind

Schrifttum

(nur Buchliteratur)

Apel, K.: Elektronische Zählschaltungen, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.

Bergtold, F.: Elektronik-Schaltungen (Abschnitt 4 bis 8), Richard Pflaum Verlag, München.

Dosse, J., und Mierdel, G.: Der elektrische Strom im Hochvakuum und in Gasen, S. Hirzel, Stuttgart.

Durand, M.: Kaltkathoden-Thyratrons, Philips Technische Bibliothek, Elektronenröhren, Band XVII.

Engel, A., und Steenbeck, M.: Elektrische Gasentladungen, Band 1 u. 2, Springer-Verlag, Berlin.

Geiger, H., und Scheel, K.: Handbuch der Physik, Band XIX, Abschnitt: Die Glimmentladung, Springer-Verlag, Berlin.

Hübner, R.: Kaltkathodenrelaisröhren und Dekadenzählröhren, Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg.

Knoll, M., Ollendorf, F., und Rompe, R.: Gasentladungstabellen, Springer-Verlag, Berlin.

Penning, F. M.: Elektrische Gasentladungen, Philips Technische Bibliothek.

Schulz, P.: Elektronische Vorgänge in Gasen und Festkörpern, Verlag G. Braun, Karlsruhe.

Seeliger, R.: Einführung in die Physik der Gasentladung, Leipzig.

Telefunken-Laborbuch:

Band I (Abschnitt: Glimmstrecken-Spannungsstabilisator),
Band II (Abschnitt: Relaisröhren mit kalter Kathode),
Franzis-Verlag, München.

Ferner:

Röhrenkataloge, Daten-Handbücher, Technische Informationen und Applikationsschriften der Röhrenhersteller.

Inhalt

1 Die Glimmentladung 7
1.1 Der Atomaufbau 7
1.2 Die Anregung und Ionisierung 9
1.3 Die Entladung 12
1.4 Die Lichterscheinungen in der Glimmentladung 16
1.5 Zündverzug, Aufbau-, Ionisierungs- und Entionisierungszeit 16
1.6 Die Hochfrequenzentladung 18
1.7 Die behinderte Entladung und die Hohlkatode 19
1.8 Die wichtigsten Kenndaten einer Glimmröhre 20

2 Die Glimmröhren-Arten 25
2.1 Signalglimmlampen 25
2.2 Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren 31
2.3 Kaltkatoden-Relaisröhren (Glimmrelaisröhren) 36
2.4 Kaltkatoden-Dekadenzählröhren 47
2.5 Spannungsstabilisierungsröhren 51
2.6 Glimmröhren für Bedeckungsmodulation 63
2.7 Glimmröhren für Helligkeitsmodulation 65
2.8 Glimm-Überspannungsableiter 66
2.9 Glimmgleichrichterröhren 69
2.10 Leistungsschaltröhren 70

3 Die praktische Anwendung der Glimmröhren 72
3.1 Ausnutzung der optischen Eigenschaften der Glimmentladung 73
3.1.1 Glimmlampen für Beleuchtungszwecke 73
3.1.2 Signal- und Anzeigeschaltungen 74
3.1.3 Betriebsschaltungen und Ansteuerung von Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren 79
3.1.4 Schaltungen für Bedeckungsmodulation 87
3.1.5 Schaltungen für Intensitätsmodulation 90

3.2 Ausnutzung der elektrischen Eigenschaften der Glimmentladung ... 91
3.2.1 Kippschaltungen ... 91
3.2.2 Relaisröhrenschaltungen ... 108
3.2.2.1 Relaisschaltungen mit Glimmdioden ... 108
3.2.2.2 Grundschaltungen der Relaisröhre ... 109
3.2.2.3 Kontaktgesteuerte Schaltverstärker ... 116
3.2.2.4 Widerstandsgesteuerte Schaltverstärker 119
3.2.2.5 Lichtgesteuerte Schaltverstärker ... 123
3.2.2.6 Kapazitiv und induktiv gesteuerte Schaltverstärker ... 133
3.2.3 Zeitverzögerungsschaltungen (Zeitkreise) ... 141
3.2.4 Zählschaltungen ... 153
3.2.5 Spannungsstabilisierungs-Schaltungen ... 184

4 Kurzbezeichnungen der Röhrenhersteller ... 187

Sachverzeichnis ... 188

1 Die Glimmentladung

Glimmröhren sind gasgefüllte Entladungsgefäße mit mindestens zwei Elektroden, an die eine Spannung gelegt wird, unter deren Einfluß ein Stromdurchgang durch die Gasstrecke erfolgt. Zum Verständnis dieses Stromdurchganges durch normalerweise nichtleitende Gase oder Dämpfe sind zunächst einige kurze Ausführungen zum Atomaufbau und zur Kinetik der Gase notwendig.

1.1 Der Atomaufbau

Das Atom besteht aus einem Atomkern und einer Elektronenhülle. Der Kern stellt kein einheitliches Ganzes dar, sondern setzt sich aus Elementarteilchen zusammen, nämlich aus positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen. Die Anzahl der Protonen, deren jedes eine positive Elementarladung besitzt, steigt mit dem Atomgewicht des Stoffes an. Die Protonen- oder *Kernladungszahl* bestimmt den chemischen Charakter des Elementes, beispielsweise seine Wertigkeit, und ist identisch mit der Ordnungszahl des betreffenden Elementes im Periodischen System.

Die Atomhülle ist aus Elektronen aufgebaut, die den Kern rund 10^{16}mal in der Sekunde auf Kreis- oder Ellipsenbahnen umlaufen. Diese Bahnen befinden sich auf sogenannten Elektronen*schalen*, die in bestimmten Abständen konzentrisch um den Kern angeordnet sind. Die Schalen können dabei vollständig oder unvollständig mit Elektronen besetzt sein (**Bild 1–1**). Das maximale Aufnahmevermögen jeder (der sieben möglichen) Schale beläuft sich auf $2 \cdot n^2$ Elektronen; bei der (vom Kern aus) ersten Schale also $2 \cdot 1^2 = 2$, bei der zweiten $2 \cdot 2^2 = 8$, bei der dritten $2 \cdot 3^2 = 18$, bei der vierten $2 \cdot 4^2 = 32$ Elektronen usw.

Jedes Elektron trägt eine negative Elementarladung. Da das Atom nach außen elektrisch neutral ist, müssen sich die positive Kernladung und die negative Elektronenladung gegenseitig aufheben, d. h. die Elektronenzahl muß der Kernladungszahl (Protonenzahl) entsprechen.

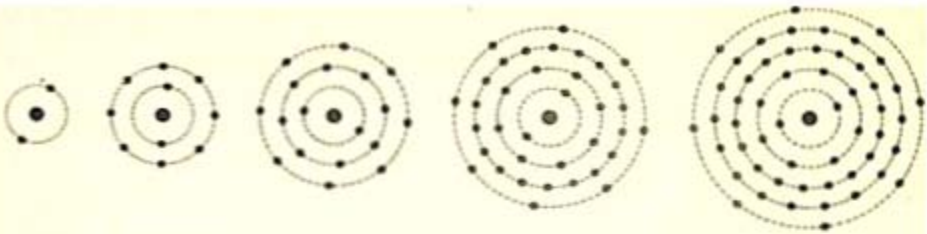


Bild 1–1 Atomaufbau der Edelgase. Von links nach rechts: Helium-Atom (Kernladungszahl 2, Hülle 2 Elektronen), Neon-Atom (Kernladungszahl 10, Hülle 10 Elektronen auf 2 Schalen), Argon-Atom (Kernladungszahl 18, Hülle 18 Elektronen auf 3 Schalen), Krypton-Atom (Kernladungszahl 36, Hülle 36 Elektronen auf 4 Schalen), Xenon-Atom (Kernladungszahl 54, Hülle 54 Elektronen auf 5 Schalen)

Die Beeinflussung des Kerns von außen her ist nur mit außerordentlich hohen Energien möglich, eine Störung der Elektronenhülle gelingt dagegen schon mit beträchtlich geringeren Energiebeträgen. Mit den in der Gasentladungstechnik üblichen Spannungswerten können wir lediglich einen Einfluß auf die Hülle ausüben, und bei genügender Energie kann ein Elektron dem Atomverband entrissen werden. Besonders leicht abspaltbar sind die *Valenzelektronen*, das sind die Elektronen einer unvollständig besetzten Schale.

Atome, die durch irgendeine Maßnahme oder einen Vorgang ein Elektron verloren haben, sind elektrisch nicht mehr neutral. Ihr elektrisches Gleichgewicht ist gestört, weil ihnen eine negative Elementarladung fehlt. Der Atomrest — das *Ion* — hat eine *positive* Überschußladung (**Bild 1–2**). Der Vorgang der Elektronenabtrennung wird als *Ionisierung* des Atoms bezeichnet. Elemente, die leicht Elektronen abgeben, sind *elektropositiv*, zu ihnen gehören z. B. die Alkalimetalle. *Elektronegativ* ist ein Element, wenn der Außenschale des Atoms bis zur vollen Besetzung noch ein Elektron fehlt. **Bild 1–3** zeigt beispielsweise ein Aluminium-Atom, dessen nicht vollständig besetzte Außen-

Bild 1–2 Neon-Atom und Neon-Ion mit positiver Überschußladung (ein Elektron zu wenig)

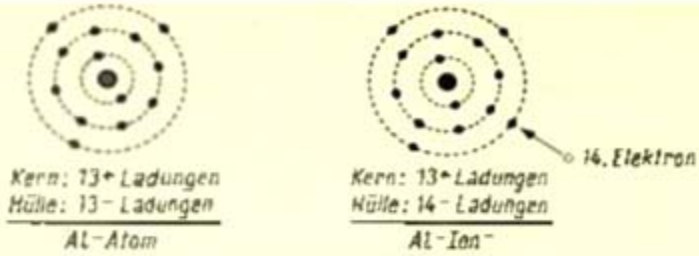


Bild 1–3 Aluminium-Atom und Aluminium-Ion mit negativer Überschußladung (ein Elektron zuviel)

schale noch ein 14. Elektron aufgenommen hat und das dadurch zum Aluminium-Ion mit negativer Überschußladung geworden ist.

1.2 Die Anregung und Ionisierung

Nach der kinetischen Gastheorie denkt man sich die Gasatome bzw. die Moleküle als kleine kugelförmige Teilchen, die sich in dauernder Bewegung befinden und dabei gegeneinander oder gegen die Wände des Entladungsgefäßes stoßen. Die Zahl der Molekel pro Kubikzentimeter ist unvorstellbar hoch und beträgt bei 0 °C und einem Druck von 760 Torr etwa $2{,}7 \cdot 10^{19}$. Von Bedeutung für die Gasentladung sind u. a. die sogenannte *freie Weglänge*, die ein Atom zwischen zwei Zusammenstößen zurücklegt, und die sekundliche Zahl der Stöße. Da die Atome mit den verschiedensten Geschwindigkeiten umherfliegen, läßt sich nur mit der *mittleren* freien Weglänge rechnen, die mit vom Gasdruck (Atomzahl) und von der Atomgeschwindigkeit bestimmt wird.

Gasentladungsröhren enthalten immer eine *Mischung* von *Ionengas*, das sind die Atomreste (Ionen), mit *Elektronengas*, das sind die von den ionisierten Atomen abgespaltenen Elektronen sowie die durch Ionenaufprall auf die Katode aus dieser ausgelösten Elektronen. Da sich die Elektronen erheblich schneller als die „größeren" Ionen bewegen, sind auch deren freie Weglängen (rund 5,6mal) größer als die der Ionen.

In den Glimmröhren herrscht ein Druck von 7...50 Torr, je nach Bauart und Verwendungszweck der Röhre. Bei 7,6 Torr, das ist ein Hundertstel des normalen Luftdruckes, sind in dem Kubikzentimeter des Gases ca. $2{,}7 \cdot 10^{17}$ Atome enthalten.

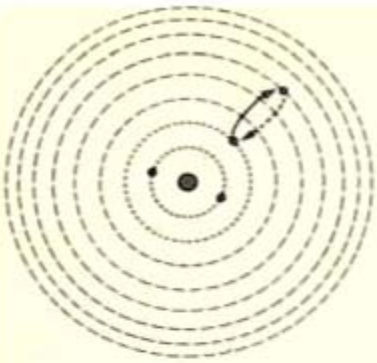


Bild 1–4 Anregung eines Lithium-Atoms (Kernladungszahl 3). Punktierte Kreise = Elektronenschalen, gestrichelte Kreise = optische Termen

Für die Gasentladung sind in erster Linie die Zusammenstöße zwischen Elektronen und Gasmolekeln maßgebend. Steht ein Elektron unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes, so erhält es ja nach Höhe der Spannung eine mehr oder weniger große kinetische oder Bewegungsenergie. Ist diese nur gering und kommt es zu einem Stoß zwischen Elektron und Atom, geschieht praktisch nichts. Man spricht in diesem Fall von einem *elastischen* Zusammenstoß. Die Atomstruktur verändert sich dabei nicht, es kommt lediglich zu einer Geschwindigkeitserhöhung des gestoßenen Gasatoms, die zur Erwärmung des Gases beiträgt.

Bei höherer Energie des Stoßelektrons kann, muß aber nicht unbedingt, das gestoßene Atom den kinetischen Energiebetrag des Stoßelektrons als *potentielle* Energie aufnehmen. Der „Grundzustand" des Atoms ändert sich, das Atom wird „*angeregt*". Das gestoßene Atomelektron wird aus seiner Grundbahn auf eine weiter außen liegende Bahn gehoben (**Bild 1–4 →**). Dort verweilt es jedoch nur ganz kurze Zeit, etwa 10^{-8} bis 10^{-7} Sekunden (s), um dann auf die alte Bahn zurückzukehren (←). Da die Bahnen oder „Energieniveaus" in Richtung zum Kern energieärmer sind als die äußeren, gibt das zurückspringende Elektron seine aufgenommene Energie als elektromagnetische Strahlung wieder ab. Es kommt zu einer *Lichtemission*, deren Wellenlänge dem abgegebenen Energiebetrag entspricht.

Eine Lichtemission erfolgt nur im angeregten Atomzustand. Die dazu erforderliche Energie ist die *Anregungsenergie* oder, da wir diese als Spannung zuführen, die *Anregungsspannung*. Ihr Wert hängt davon ab, ob sich die Elektronen leicht oder schwer be-

einflussen lassen. Das Elektron, das sich am leichtesten (als erstes) aus seiner Grundbahn heben läßt, ist das *Leuchtelektron*. Die Bahnen, zwischen denen eine optische Anregung stattfindet (in Bild 1–4 gestrichelt), heißen *optische Termen*.

Nach der Quantentheorie können die Elektronen immer nur ganz *bestimmte* Energiebeträge aufnehmen und abgeben; das Elektron kann nur von einer Bahn auf eine andere springen, *dazwischen* kann es sich *niemals* aufhalten.

Besitzt das Stoßelektron eine höhere als die Anregungsenergie, wird das Elektron aus dem Atomverband herausgerissen. Aus dem einen neutralen Atom werden zwei „Ladungsträger": das abgespaltene negative Elektron und das positive Ion (als Atomrest). Das Atom ist ionisiert; die dafür aufzuwendende Energie bzw. Spannung wird als *Ionisierungsspannung* bezeichnet. Sie ist bei jedem Element verschieden und u. a. davon abhängig, wie stark das Atom die Valenzelektronen festhält. Die Alkalimetalle benötigen die kleinsten und die Edelgase die höchsten Ionisierungsspannungen. Für die wichtigsten Gase sind die Werte in Elektronenvolt (eV) in der nachstehenden Tabelle angegeben.

Gase	He	Ne	Ar	Kr	N	H	Xe
Ionisierungsspannung (eV)	24,47	21,47	15,68	13,94	14,05	13,54	12,08

Neben dem beschriebenen einfachen Stoß gibt es Mehrfachstöße; außerdem kann eine Ionisierung durch Zusammenstoß zwischen Atom und Ion sowie durch Temperaturerhöhung des Gases und ferner durch Strahlungsabsorption erfolgen. Alle Stöße, bei denen kinetische Energie in potentielle umgewandelt wird, sind *unelastische* Stöße.

Da der Entladungsraum nach der Ionisierung neben negativen Elektronen auch positive Ionen enthält, kann es infolge ihrer ungleichnamigen Ladung zu einer *Wiedervereinigung* oder *Rekombination* beider Träger kommen. Weil hierbei das Elektron Energie abgibt, entsteht wiederum eine Lichtemission, in diesem Fall das *Wiedervereinigungsleuchten*.

1.3 Die Entladung

Man unterscheidet *selbständige* und *unselbständige* Entladungen. Unselbständig ist eine Entladung, wenn die Erzeugung der Ladungsträger nur durch eine besondere, ständig zugeführte Energie aufrechterhalten werden kann, so durch Heizleistung, Lichtstrahlung, kurzwellige Röntgen- oder kosmische Strahlung, sowie durch radioaktive Stoffe. Hört die Erzeugung primärer Elektronen oder Ionen durch äußere Ursachen auf, endet auch die unselbständige Entladung.

Bei der selbständigen Entladung geschieht die Trägererzeugung allein durch die mittel- oder unmittelbare Wirkung der zur Bildung des Entladungsfeldes zugeführten Elektrodenspannung. *Die Glimmentladung ist eine selbständige Entladung.*

Legen wir an die Elektroden einer mit Neongas von etwa 10 Torr Druck gefüllten Entladungsröhre nach **Bild 1–5** eine Gleichspannung und erhöhen diese allmählich von Null ausgehend, so wird anfangs selbst der empfindlichste Strommesser nichts anzeigen. Und doch fließt bereits ein winziger Strom in der Größenordnung von $10^{-15}...10^{-12}$ A.

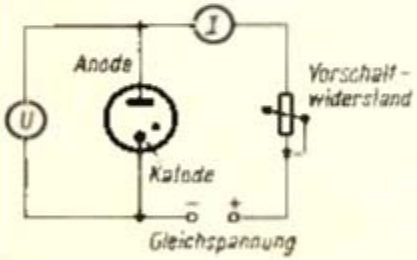


Bild 1–5 Entladungsschaltung

Unter dem Einfluß der immer und überall vorhandenen kosmischen, radioaktiven und Licht-Strahlung waren einige Gasatome bereits in Ionen und Elektronen gespalten (Fremdionisierung), die nun als Keime für den Aufbau der Entladung anzusehen sind. Beschleunigt durch das elektrische Feld bewegen sich die Ionen zur Katode und die Elektronen zur Anode. Auf dem Wege zur Anode erhält das Elektron eine immer größere Geschwindigkeit, bis es schließlich eine so große kinetische Bewegungsenergie erlangt, daß es beim nächsten Zusammenstoß ein Gasatom zu ionisieren vermag. Es entstehen ein neues Elektron und ein neues Ion. Während sich das Ion zur Katode begibt, fliegen das alte und das

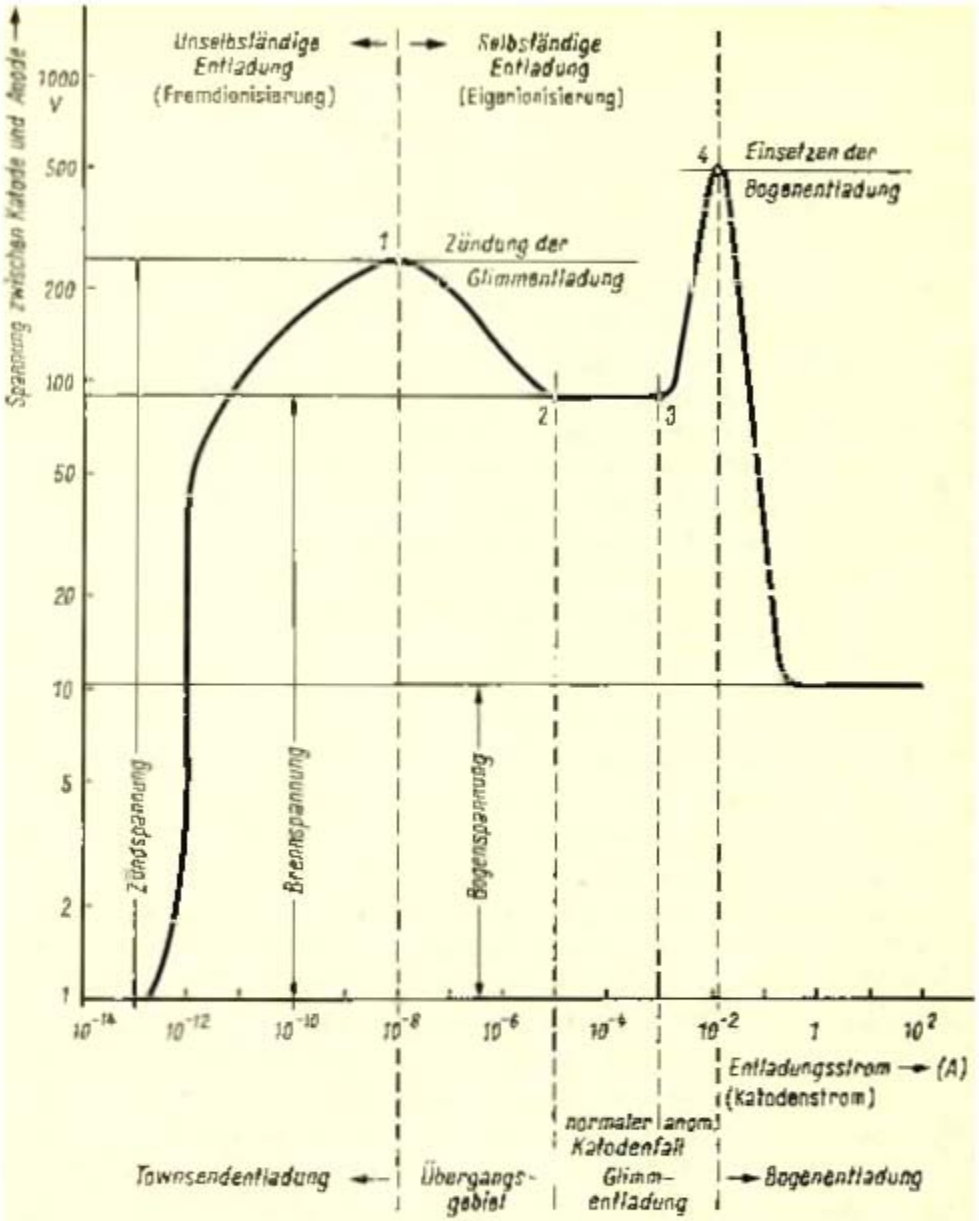


Bild 1–6 Schematische Entladungs-Kennlinie

neue Elektron zur Anode, erreichen nach erneuter Beschleunigung wieder die Ionisierungsenergie und erzeugen beim nächsten Stoß nochmals Elektronen und Ionen. So steigt die Zahl der Ladungs-

träger mit lawinenartiger Geschwindigkeit an. Dabei wird nicht allein eine „Trägerlawine" erzeugt, sondern von *jedem* im Gasraum vorhandenen Elektron geht eine solche Lawine aus.

Während die an der Anode ankommenden Elektronen in diese eintreten und als Leitungselektronen weiterfließen, wandern die Ionen in Katodenrichtung, erhalten unterwegs eine Beschleunigung, prallen auf die Katode auf und schlagen aus dieser ein oder mehrere Elektronen heraus. Davon brauchen die Ionen *ein* Elektron zu ihrer Neutralisation zum Gasatom, die übrigen Elektronen bilden die Keime neuer Lawinen. Theoretisch müßte die Trägerneubildung ins Unendliche gehen, wenn nicht ein Ausgleich durch ständige Vernichtung von Trägern im Gasraum (z. B. durch Rekombination) oder an den Wänden des Entladungsgefäßes erfolgen würde. Sobald aber von allen in der Lawine gebildeten Ionen auch nur ein einziges ein über die eigene Neutralisation überschüssiges Elektron auslöst, ist die Bedingung für das Entstehen einer neuen Lawine, d. h. für die Aufrechterhaltung der selbständigen Entladung, erfüllt.

Die Entladung setzt mit Strömen zwischen 10^{-14} und 10^{-12} A ein (**Bild 1–6**), wobei noch keine merkbaren Leuchterscheinungen auftreten. Daran schließt sich das Gebiet der *Townsend*entladung an, in der bei weiterer Stromsteigerung ständig neue Elektronen und Ionen – in steigendem Umfang durch Stoßionisierung – entstehen. Aber immer noch ist die Entladung unselbständig. Die Ionen sind ihrer größeren Masse wegen wesentlich langsamer als die Elektronen, sie verweilen länger im Gasraum und bilden im Bereich der stärksten Ionisierung – in Katodennähe – eine *positive Raumladung*. Diese erleichtert den Elektronenaustritt aus der Katode, und es kommt nach dem sehr schnell erfolgenden Aufbau der positiven Raumladung zu einem ebenso plötzlichen Stromanstieg bei gleichzeitigem Zusammenbruch der Spannung (Punkt 1 der Kennlinie in Bild 1–6). Die Glimmentladung hat gezündet und ist *selbständig* geworden. Die Zeit vom Auftreten der ersten Entladungskeime bis zur Zündung beträgt etwa 10^{-8}...10^{-5} Sekunden.

Die bei der Zündung an der Röhre stehende Spannung ist die *Zündspannung*, der sich danach einstellende kleinere Wert die *Brennspannung*. Der zwischen positiver Raumladung und Katode

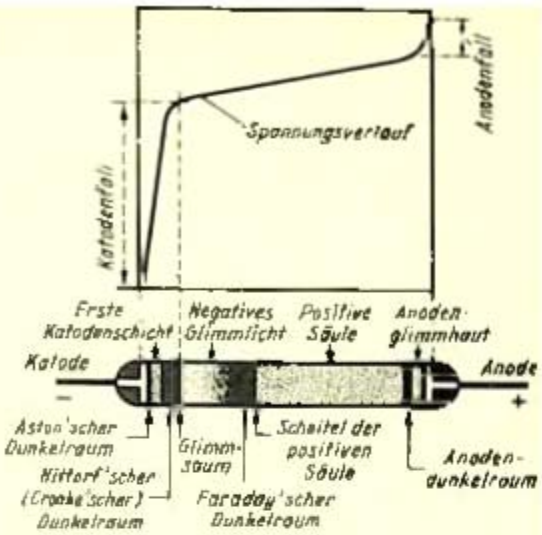


Bild 1–7 Spannungsaufteilung zwischen Katode und Anode bei normaler Glimmentladung, darunter die Lichterscheinungen in der Glimmentladung

entstehende Spannungsabfall (Katoden*fall*), der für die Elektronenemission der Katode notwendig ist, liegt sehr hoch und verschlingt den größten Teil der Elektrodenspannung (**Bild 1–7**). Elektronegative Gase weisen die höchsten und Edelgase in Verbindung mit Alkalielektroden die kleinsten Spannungsabfälle auf. Der Spannungsabfall an der Anode, der *Anodenfall*, kann u. U. ganz fehlen. Ist im Augenblick der Zündung kein strombegrenzender Widerstand (s. Bild 1–5) vorhanden, wächst der Strom derart stark an, daß er die Entladungsstrecke zerstören kann.

Vergrößern wir nach der Zündung durch Verringern des Widerstandes den Strom weiter, bleibt die Brennspannung so lange vom Strom fast unabhängig, bis sich die Katode völlig mit Glimmlicht überzogen hat. Der Katodenfall wird in diesem Bereich (zwischen 2 und 3 in Bild 1 6) nur vom Gasinhalt und Elektrodenmaterial bestimmt. Dabei ist die Glimmlichtbedeckung der Katode dem Strom proportional, die Stromdichte bleibt konstant (*Hehlsches* Gesetz). Dieses Gebiet der Glimmentladung nennt man den Bereich des *normalen* Katodenfalls. Hat sich die Katode ganz mit Glimmlicht überzogen und erfährt der Strom eine weitere Steigerung, nehmen Stromdichte und Katodenfall erneut zu. Wir befinden uns jetzt im Gebiet des *anomalen* Katodenfalls (zwischen 3 und 4 der Kennlinie in Bild 1- 6).

Nach dem Durchlaufen des anomalen Entladungsgebietes konzentriert sich die katodische Glimmbedeckung sehr bald auf einen kleinen *Brennfleck*; zugleich bricht der Katodenfall bis etwa auf die Ionisierungsspannung zusammen, während Stromdichten bis zu 1000 A/cm² auftreten können. Der Grund hierfür ist die gegen Punkt 4 der Kennlinie immer mehr anwachsende thermische Katodenbelastung und die dadurch bedingte übergroße Mehrerzeugung von Ladungsträgern. Die Glimmentladung geht in die *Lichtbogenentladung* über, womit die Reihe der selbständigen Entladungen ihren Abschluß findet.

1.4 Die Lichterscheinungen in der Glimmentladung

Nach der Zündung sind in der Glimmentladung mehrere Leuchtzonen und Dunkelräume zu unterscheiden, wobei die Bereiche mit überwiegender Ionisierung kaum oder nur schwach und die Schichten mit überwiegender Anregung kräftig leuchten. Die Intensität der ausgestrahlten Spektrallinien nimmt mit der Elektronengeschwindigkeit bis zu einem Maximalwert zu und fällt bei weiterer Spannungserhöhung wieder ab. Die Anordnung der Leucht- und Dunkelschichten zeigt in schematischer Darstellung Bild 1–7, das gleichzeitig die Aufteilung der Elektrodenspannung auf die Ionisierungs-, Anregungs- und Rekombinationsräume der Entladungsstrecke erkennen läßt. Von den Lichterscheinungen der Glimmentladung interessiert uns hier in der Hauptsache das *negative Glimmlicht*, dessen Farbe vom Füllgas abhängt; sie ist z. B. in Neongas orangerot, in Krypton grün, in Xenon blauweiß und in Stickstoff blau.

Das Licht der zwischen Katoden- und Anodenfall liegenden *positiven Säule* bildet die Grundlage der Gasentladungslampen und Leuchtröhren; in Glimmröhren wird es nur in wenigen Fällen ausgenutzt.

1.5 Zündverzug, Aufbau-, Ionisierungs- und Entionisierungszeit

Wird an die Katode und Anode einer Glimmröhre eine zur Zündung der Entladungsstrecke ausreichende Elektrodenspannung gelegt, muß mindestens ein Elektron im Gasraum vorhanden sein, das den Keim für die erste Ladungsträgerlawine bildet. Vom Moment des Einschaltens bis zum Erscheinen dieses ersten Ent-

ladungskeimes, meist durch kosmische Strahlung, vergeht immerhin eine, wenn auch nur kurze Zeit, die man als Zünd- oder *Entladeverzug* bezeichnet. Dieser kann zwischen einigen Millisekunden und einigen Sekunden liegen und wird von der Zahl der im Einschaltmoment im Entladungsraum gerade zufällig vorhandenen Elektronen (die zur ersten Ionisierung führen) sowie von der die Zündspannung übersteigenden Überschußspannung (Zündüberspannung) bestimmt. Ein sehr kurzer Zündverzug läßt sich mit einer sehr hohen Betriebsspannung, ein Verzug bis zu mehreren Stunden durch eine Bleiabschirmung der Röhre erreichen.

Die Abhängigkeit der Zündung von der Anzahl der im Entladungsraum befindlichen „Zufallselektronen" bildet die Ursache für die *Inkonstanz* der Zündspannung einer Glimmröhre. Diese Zündspannungsschwankungen spielen bei einer Verwendung der Röhre für Signalzwecke keine Rolle, sind jedoch sehr unerwünscht bei Verwendung einer Glimmröhre für Schaltverstärker, Regel- oder Steuerzwecke. Um die Zündspannungstoleranzen weitestgehend einzuengen und dem Idealfall der konstanten Zündspannung recht nahe zu kommen, muß versucht werden, die Zündung der Entladung unabhängig zu machen von den *zufällig* vorhandenen – wenigen oder vielen – Elektronen, die von der vorhergehenden Entladung vielleicht noch zurückgeblieben, die durch kosmische Einstrahlung oder durch die gerade auf die Röhre einwirkende Beleuchtung oder durch äußere auf den Entladungsraum einwirkende Felder entstanden sein könnten.

Eine weitgehende Unabhängigkeit von äußeren unkontrollierbaren Einflüssen auf die Zündung der Entladungsstrecke läßt sich dadurch erreichen, daß man schon *vor* der Zündung für das Vorhandensein einer ausreichenden Menge von Ladungsträgern im Entladungsraum sorgt. Das läßt sich auf mehreren Wegen ermöglichen; der einfachste, doch nicht immer zuverlässige Weg ist eine konstante *Dauerbeleuchtung* der Glimmröhre. Eine weitere Möglichkeit für die Bereitstellung von Ladungsträgern besteht darin, daß auf der Kolbeninnenwand ein *radioaktives Material* aufgetragen oder dem Füllgas ein gasförmiges – betastrahlendes – Radioisotop (z. B. Tritium) zugefügt wird. In beiden Fällen sind die Mengen der radioaktiven Stoffe selbstverständlich so gering

bemessen, daß auch bei Kolbenbruch keine Strahlenschäden auftreten können. Das zur Erzielung minimaler Zündverzüge bzw. geringster Zündspannungsschwankungen bzw. einer genauer definierbaren Zündspannung meist benutzte Verfahren ist der Einbau einer zusätzlichen *Hilfsentladungsstrecke*. Diese parallel zur Hauptentladungsstrecke liegende, jedoch kürzere Hilfsentladungsstrecke brennt ständig mit einem sehr schwachen Strom und sichert damit eine dauernde *Vorionisierung* des Füllgases.

Als *Aufbauzeit* rechnet man die Zeit vom Erscheinen des ersten Ladungsträgers bis zur Zündung der stationären Entladung, gegeben durch Röhrenkonstanten, Betriebsspannung und Vorschaltwiderstand. In einer Neonentladung bei niedrigem Druck beträgt die Aufbauzeit beispielsweise 10^{-4} bis 10^{-5} Sekunden. Unter *Ionisierungszeit* wird der Zeitraum verstanden, der zwischen dem Zündaugenblick und dem Erreichen der Brennspannung liegt, oder anders ausgedrückt, die Zeit, in der die Zündspannung auf den Wert der Brennspannung abgefallen ist. Die *De-* oder *Entionisierungszeit* – auch Erhol- oder Freiwerdezeit genannt – umfaßt die Zeitspanne, die vom Löschen der Entladung bis zur erneuten vollen Sperrfähigkeit der Entladungsstrecke vergeht. Sie wird für die Rekombination der Ionen benötigt und von der Höhe der während der Entionisierung des Entladungsraumes an den Elektroden liegenden Spannung bestimmt.

Die Aufbau-, Ionisierungs- und Entionisierungszeiten sind hauptsächlich dann von Bedeutung, wenn die Glimmröhre als schneller Schalter oder als Kippspannungserzeuger Verwendung findet, wo sie die maximale Schalt- bzw. Kippfrequenz festlegen.

1.6 Die Hochfrequenzentladung

Beim Betrieb einer Glimmröhre mit *Hochfrequenz*spannung sind keine Innenelektroden notwendig, infolge der kapazitiven Einwirkung des hochfrequenten Wechselfeldes auf den Gasraum genügen Metallbelege als *Außen*elektroden. Die Lichterscheinung der Hf-Entladung zeigt keine abgegrenzten Leucht- und Dunkelschichten, das Leuchten erstreckt sich gleichmäßig über die ganze Entladungsstrecke. Die elektrischen Merkmale eines Hf-Betriebes sind niedrige Brennspannung und eine erhebliche Reduzierung

der Zündspannung. Die nicht jedesmal verschwindende Raumladung begünstigt den Elektronenaustritt aus der Katode ganz wesentlich, womit eben auch eine Erleichterung der Zündbedingungen gegeben ist.

1.7 Die behinderte Entladung und die Hohlkatode

Wird eine normale Glimmentladung durch Erhöhung des Vakuums oder durch übermäßige Verringerung des Elektrodenabstandes „behindert", dann gelangen sehr viele Elektronen zur Anode, ohne unterwegs einen Zusammenstoß mit einem Gasatom gehabt zu haben. Demzufolge ist auch die Zahl der erzeugten und zur Aufrechterhaltung der Entladung notwendigen Ionen geringer. Diese wenigen Ionen müssen jetzt aber annähernd ebenso viele Elektronen aus der Katode auslösen wie die zahlreicheren Ionen in der normalen Entladung. Dieses Mehr an Elektronen können die Ionen in der behinderten Entladung jedoch nur dann schaffen, wenn ihre Beschleunigung stark erhöht wird. Deshalb braucht eine behinderte Entladung beträchtlich höhere Spannungen als die normale Entladung. Die Behinderung setzt dort ein, wo die Brennspannung – hier identisch mit dem Katodenfall – plötzlich stark ansteigt.

Zur Aufhebung der Behinderung läßt man ein transversales *Magnetfeld* auf die Entladungsstrecke wirken; dadurch erfahren die sonst geraden Wege der Ladungsträger eine Krümmung, also eine Verlängerung, und die Zusammenstöße erfolgen jetzt in geometrisch kleineren Abständen. Das Magnetfeld wirkt wie eine Erhöhung des Gasdruckes, es schafft im Gasraum normale Verhältnisse, und die behinderte Entladung zündet bei den sonst üblichen Elektrodenspannungen.

Auch auf elektrischem Wege ist die Gasdichte scheinbar zu erhöhen. Dazu werden statt einer Katodenfläche im Entladungsraum *zwei* elektrisch verbundene Katodenflächen in einem so geringen Abstand aufgestellt, daß sich ihre Glimmlichter vereinigen. Eine solche Katodenanordnung trägt die Bezeichnung *Hohlkatode*. Unter dem Einfluß der zwischen den Platten stehenden positiven Raumladung und den negativ geladenen Katodenflächen pendelt das Elektron mehrmals hin und her, es verlängert seinen Weg und findet dabei öfter Gelegenheit zu Atomstößen

als bei direktem Fluge zur Anode. Es werden mehr Ladungsträger erzeugt, man erreicht eine Erhöhung der Stromdichte und kann bei *mittleren* Katodenfallwerten *starke* Ströme gewinnen.

Die gleiche Wirkung zeigen Katoden in Form von Kugelschalen oder Zylindern und ebenso engmaschige Drahtnetzkatoden. Elektroden von langstreckter Rechteckform, die prismatisch abgewinkelt sind und bei denen die Entladung auf der hohlen Seite des Prismas stattfindet, können ebenfalls als Hohlkatoden angesprochen werden.

1.8 Die wichtigsten Kenndaten einer Glimmröhre

Normalerweise nutzen Glimmröhren das katodische Glimmlicht aus. Zur teilweisen oder vollständigen Unterdrückung der positiven Säule verlegt man die Anode in den Faradayschen Dunkelraum (**Bild 1–8**). Gleichzeitig verringert sich der Gesamt-

Bild 1–8 Unterdrückung der positiven Säule

spannungsabfall, der nunmehr aus dem Katodenfall und der Spannung besteht, die notwendig ist, um die Elektronen aus dem Bereich des negativen Glimmlichtes bis zur Anode zu bringen. Die Zündspannung beträgt nicht viel mehr als der Katodenfall. Das Heranrücken der Anode an die Katode kann allerdings nur bis an die Grenze des negativen Glimmlichtes erfolgen, da der Katodenfall zur Aufrechterhaltung der Entladung unbedingt erforderlich ist. Wird das katodische Entladungsgebilde an seiner vollen Entwicklung und Ausbildung gestört, erlischt die Entladung.

Die Elektrodenspannung, die sich aus Katodenfall, Anodenfall usw. zusammensetzt, wie die Art und Form der Lichterscheinungen hängen u. a. von den Elektroden (Material, Form und Abstand), von der Art der Gasfüllung und vom Gasdruck ab. Alle diese Faktoren lassen sich in weiten Grenzen ändern und den jeweiligen Anforderungen anpassen, die eine Glimmröhre für bestimmte Verwendungszwecke zu erfüllen hat.

Der Spannungswert, bei dem die Zündung der Entladung einsetzt, ist die *Zündspannung* U_Z. Ihre Größe ist selbst für einunddieselbe Röhre nicht immer gleich und hängt u. a. von der Zahl der im Zündmoment gerade vorhandenen Ladungsträger ab. Die Zündspannungsschwankungen können u. U. ganz beachtliche Werte annehmen. Durch besondere Maßnahmen lassen sich die Schwankungen der Zündspannung jedoch wesentlich einschränken, so daß die U_Z-Werte bei vielen Röhren gut reproduzierbar sind. Das kann beispielsweise durch eine ständige gleichmäßige Beleuchtung der Röhre oder durch Einbau einer ständig brennenden Hilfsentladung geschehen oder durch die ständige Anwesenheit von freien Elektronen im Entladungsraum, die von – im Röhrenkolben eingefügten – radioaktiven Materialien geliefert werden. Röhren mit Reinmetallkatoden (*Molybdänkatoden*) verlangen im allgemeinen eine höhere Zündspannung als Röhren mit *Schichtkatoden*, deren Trägermetalle mit elektropositiven Stoffen beschichtet sind. Die unterste Zündspannungsgrenze für solche aktivierten Katoden liegt bei etwa 70 V Gleichspannung. In einer Glimmröhren*diode* mit *einer* Katode und einer Anode muß die Versorgungs(Speise)spannung stets die Zündspannung übersteigen, je größer die Spannungsüberhöhung ist, desto sicherer zündet die Entladung. Bei Speisung mit Wechselspannung bestimmt der Spitzenwert die Zündung, d. h. $U_{Zeff} = 0{,}7\,U_Z$. Die Zündspannung ist *frequenzabhängig*, bei hohen Frequenzen nimmt U_Z ab.

Unmittelbar nach der Zündung fällt die Spannung auf die kleinere *Brennspannung* U_B ab. Im Gegensatz zur Zündspannung

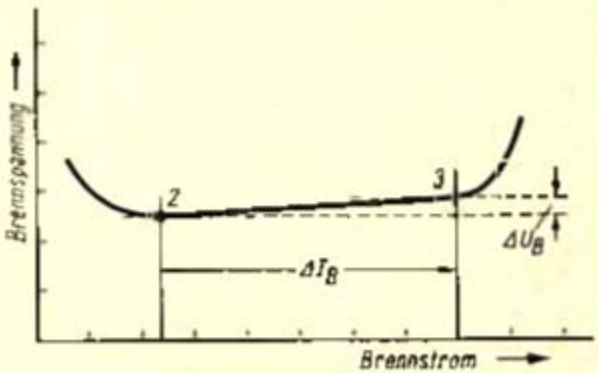


Bild 1–9 Verlauf der Brennspannung U_B im Bereich des normalen Katodenfalls (zwischen den Punkten 2 und 3, vgl. hierzu Bild 1–8)

lassen sich bei der Brennspannung schon nach verhältnismäßig kurzer Einbrenndauer praktisch konstante Werte erhalten. Die Differenz zwischen der Brennspannung und der Speisespannung wird vom Vorschaltwiderstand aufgenommen. Die Brennspannung verläuft im Bereich der normalen Glimmentladung sehr flach und ist vom Brennstrom I_B weitestgehend unabhängig (**Bild 1–9**). Zu ihrer genauen Festlegung sollte immer der dazugehörende Stromwert mit angegeben werden. In der Hauptsache bestimmen die Höhe der Brennspannung die Gasfüllung und das Katodenmaterial; Schichtkatoden ergeben wiederum niedrigere Spannungswerte als Reinmetallkatoden.

Wird in einer brennenden Entladung der Wert U_B langsam verringert, bleibt die Entladung noch einige Zeit bestehen, um dann bei Erreichen eines für jede Röhre charakteristischen Wertes, der *Abreiß-* oder *Löschspannung* U_L, plötzlich zu verlöschen.

Zwischen der Zünd-, Brenn- und Löschspannung einer Glimmröhre besteht die einfache Beziehung

$$U_Z > U_B > U_L$$

Diese drei Größen kennzeichnen jede Glimmröhre. Hinzu kommt noch der *höchstzulässige Strom*, der den Vorschaltwiderstand festlegt, ohne den keine Glimmröhre betrieben werden darf. Um einen möglichst stabilen und zündsicheren Betrieb zu erhalten, ist es stets von Vorteil, die Betriebsspannung möglichst hoch zu wählen. Der Schutzwiderstand R_V errechnet sich nach dem Ansatz

$$R_V = \frac{U - U_B}{I} \; [\Omega]$$

U = Betriebs(Speise)spannung [V],
U_B = Brennspannung [V],
I = Entladestrom (Brennstrom) im Arbeitspunkt [A].

Der in den Daten von den Röhrenherstellern festgelegte maximale Betriebs(Brenn)strom darf nicht überschritten werden. Höhere Ströme führen zu verstärkter Elektrodenzerstäubung und damit zu einer Herabsetzung der Lebensdauererwartung. Zu geringe Betriebsströme wiederum bringen zwar eine Verlängerung

der Lebensdauer, ergeben aber keine volle Glimmlichtbedeckung der Elektroden mehr, was für verschiedene Verwendungszwecke der Glimmröhren von Nachteil sein kann.

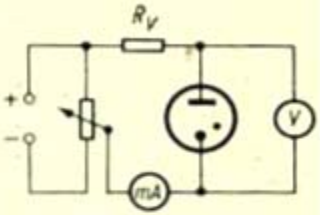


Bild 1–10 Schaltung zur Kennlinienaufnahme einer Glimmröhre

In manchen Fällen ist die Größe des *Wechselstromwiderstandes* $R_\sim$ einer Glimmröhre von Bedeutung. Dieser bestimmt sich aus der Spannungsänderung ΔU als Folge der Stromänderung ΔI (Bild 1–9) wie folgt:

$$R_\sim = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad [\Omega]$$

Bei Angabe des $R_\sim$-Wertes in den Röhrendaten bezieht sich dieser normalerweise auf die Mitte des geradlinigen Kurvenstückes der Brennspannung.

Die *Konstanz* der Zünd- und Brennspannung bestimmen in erster Linie die Reinheit der Katodenoberfläche und die Reinheit des Füllgases. Umgebungstemperaturen zwischen −30 °C und +80 °C bleiben auf die Betriebsspannungen sowie auf den Entladungsvorgang ohne Einfluß; bei einer Reihe von Glimmröhren liegen die zugelassenen Temperaturgrenzen noch weiter auseinander, teilweise bis −55 °C und +100 °C. Die *Lebensdauer* der Glimmentladungsröhren beträgt bei Einhaltung der vom Hersteller vorgeschriebenen Betriebsdaten zwischen mehreren 1000 und mehreren 10 000 Stunden; dabei ist die Lebensdauererwartung für Röhren mit Reinmetallkatoden am höchsten. Das Ende einer Glimmröhre erfolgt nicht spontan, sondern kündigt sich allmählich durch stärkere Katodenzerstäubung (Schwärzung des Kolbens) sowie durch eine stetige Erhöhung der Zünd- und Brennspannung an.

Die Kennlinie einer Glimmröhre kann in einer Schaltung nach **Bild 1–10** aufgenommen werden. Für allgemeine Zwecke genügt die Strom-Spannungs-Charakteristik von der Zündung bis zum

Verlöschen der Entladung. Dabei ist zu beachten, daß die Zündspannung vor dem Zündeinsatz abgelesen wird. Sind genauere Kurvenwerte erwünscht, müssen die Mittelwerte aus mindestens drei Messungen festgestellt werden. Die für eine bestimmte Röhre festgelegte Kennlinie gilt jedoch nicht ohne weiteres für eine zweite Röhre des gleichen Typs. Es gibt kaum zwei Glimmröhren, die sich in allen Werten gleichen.

2 Die Glimmröhren-Arten

2.1 Signalglimmlampen

Glimmröhren zur optischen Anzeige des Betriebszustandes von elektrischen Anlagen, Elektrogeräten, Schaltern u. a. werden unter dem Sammelbegriff *Signalglimmlampen* zusammengefaßt, obwohl sie gerade als Lampen ihres geringen Lichtstromes wegen für Beleuchtungszwecke nicht zu verwenden sind. Dafür haben sie den Vorzug einer sehr hohen Lebensdauer [bei einigen Typen bis 50 000 Stunden], die von der Schalthäufigkeit unbeeinflußt bleibt, sowie eine sehr niedrige Leistungsaufnahme, die von Bruchteilen eines Watts bis zu wenigen Watt geht. Auch bei den kleinsten Signalglimmlampen ist das Glimmlicht trotz der geringen Leuchtdichte selbst auf größere Entfernungen deutlich erkennbar. Außerdem sind Signalglimmlampen infolge ihres robust-einfachen Aufbaues unempfindlich gegen Vibrationen, Erschütterungen und Stöße. Ihre Verwendungsmöglichkeiten sind außerordentlich vielseitig, und entsprechend umfangreich ist auch das Typenangebot, das von der Großmelderöhre bis zur winzi-

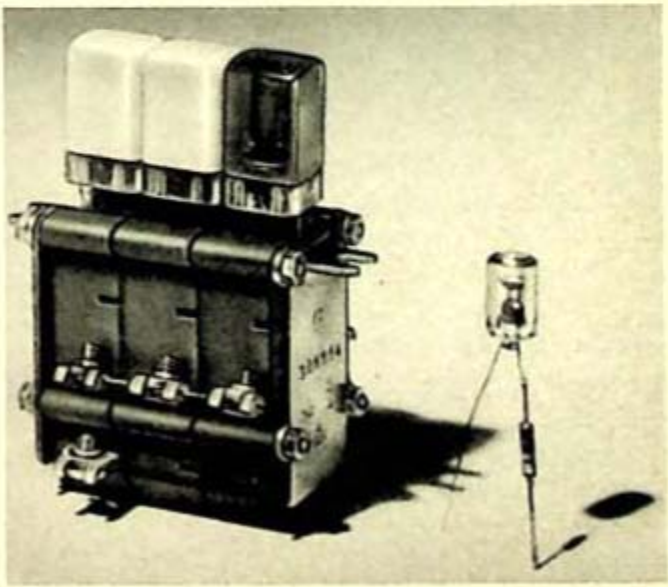
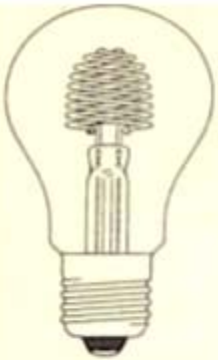


Bild 2–1 Sockellose Glimmlampe mit Vorwiderstand Typ GL 40 (rechts), geeignet zum Einbau in Schalter und Taster (links) [Philips]

[1] Siehe die Fußnote auf der nächsten Seite.



Links: Bild 2–2
Bienenkorb-
Glimmlampe

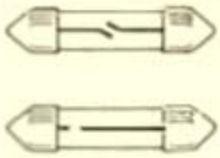


Bild 2–3 *Glimmröhren in Soffittenform mit Kappenanschluß. Oben: Universalröhre, unten: Polprüfröhre mit verschieden langen Stabelektroden*

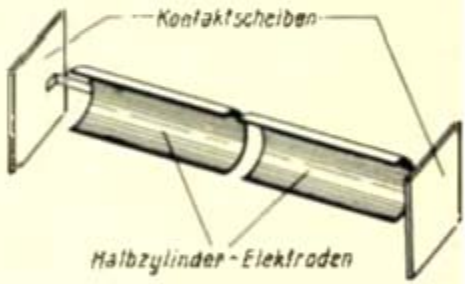
gen Zwergröhre reicht. Die Signalglimmlampen werden mit Schraubgewinde-, Bajonett-, Zweistift- und Telefonstecksockel, in Soffittenform mit Kappenanschluß und ungesockelt mit freien Drahtenden gebaut. Die sockellosen Glimmröhren – bis herunter zu einer Länge von 10 mm bei nur 4 mm Durchmesser – dienen zum direkten Einlöten in die Schaltung, in Geräte und in Schalter (**Bild 2–1**)[1]). Signalglimmlampen werden entweder mit eingebautem Widerstand für direkten Netzanschluß oder ohne Vorschaltwiderstand gefertigt.

Zu den Glimmlampen-Spezialausführungen gehört die bekannte *Bienenkorblampe* (**Bild 2–2**), die bevorzugt als Nacht-, Not- oder Richtungslampe Verwendung findet. Sie nimmt bei den üblichen Netzspannungen einschließlich Vorwiderstand nur 1,5 bis 3 W Leistung auf und steht auch ohne eingebauten Widerstand zur Verfügung. *Spannungssucher-* oder *Polprüfröhren* (**Bild 2–3**) – überwiegend in Soffittenform – enthalten teilweise zwei verschieden lange oder unterschiedlich geformte Drahtelektroden. Bei Wechselstrombetrieb überziehen sich beide Elektroden mit Glimmlicht, bei Gleichstromspeisung nur eine, und zwar die mit dem negativen Spannungspol verbundene Katode. Zur Prüfung von Stromart und Polarität werden spezielle Glimm-*Indikatorröhren* angeboten, deren eine Drahtelektrode als Kreis und deren andere als Pluszeichen ausgeführt ist.

Eine völlig neue Konzeption der Fertigungstechnik zeigt die

[1]) Im Text und in den Bildunterschriften sind die aus zwei oder drei Buchstaben bestehenden Kurzbezeichnungen der Röhrenhersteller in [ ] gesetzt. Die Erklärungen der Kurzbezeichnungen sind auf Seite 187 nachzulesen.

Glimmsoffitte GL 90 [Phi]. Die Lampe (**Bild 2–4**), die für 220-V-Wechselstrombetrieb ausgelegt ist, besteht aus einem zylindrischen Glasröhrchen von 6 mm Durchmesser und 28 mm Länge, das an den Enden durch eine Glas-Metall-Verbindung mit je einer (0,3 mm) dünnen, korrosionsbeständigen Metallscheibe (7,5 × 7,5 mm) abgeschlossen ist. Diese *quadratischen Metallscheiben* stellen den elektrischen Kontakt nach außen her. Im Innenraum ist jede Scheibe mit einer *halbzylinderförmigen Elektrode* verbunden, die praktisch die gesamte Innenfläche ausfüllt. Hierdurch ergibt sich eine fast 100 %ig leuchtende Länge im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Lampen mit ein- oder zweiseitigen Glas-Draht-Einschmelzungen (z. B. die [Phi] Typen GX 87 oder GL 11 T), die nur zu etwa 80 % ausleuchten. Bei einem Strom zwischen 4 und 6,5 mA – je nach Wert des Vorwiderstandes – liegt die Leuchtdichte bei völlig gleichmäßiger Glimmlichtbedeckung der Elektroden sehr hoch. Die Soffitte GL 90 eignet sich besonders gut zur gleichmäßigen Ausleuchtung von rechteckigen Anzeigefeldern, ferner für Leuchtschaltbilder sowie zum Aufbau von Ziffernskeletten, z. B. nach Bild 3–144, für die Großanzeige von Zahlen, Zeichen und Buchstaben. Mehrere Glimm-



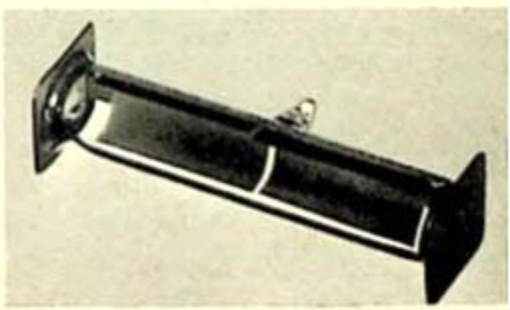


Bild 2–4 Glimmsoffitte GL 90 [Phi] mit halbzylinderförmigen Elektroden und quadratischen Kontaktscheiben. Oben: Elektrodenform und -anordnung, unten: Foto der Glimmsoffitte

soffitten der neuen Ausführung lassen sich durch *Reihen*anordnung zu Licht*bändern* und durch *Parallel*anordnung zu größeren Leucht*flächen* zusammenfügen.

In der Mehrzahl enthalten die Signalglimmlampen Neon als Hauptkomponente des Gasgemisches, das ein rotes bis gelb-rotes Licht ausstrahlt. Wird *Quecksilberdampf* hinzugefügt, erhält das Glimmlicht einen bläulichen Farbton. Durch Benutzung von Farbglas- oder farbig lackierten Kolben läßt sich die rote, gelb-rote oder blaue Farbe des Glimmlichtes intensivieren und in der Tönung etwas variieren. Blaues Glimmlicht und gelber Kolben ergeben z. B. einen grünlichen Ton. Aber es ist unmöglich, aus dem Neonlicht, dessen Strahlungsspektrum fast nur Rot und Gelb enthält, durch Vorschalten von Farbfiltern vielleicht grünes Licht machen zu wollen.

Zur Steigerung von Lichtstrom und Leuchtdichte ist der größte Teil der Signalglimmlampen mit Elektroden in Form einer Kalotte und eines Kegelringes ausgestattet (**Bild 2–5**). Die Elektrodenoberflächen entsprechen den Forderungen nach einer möglichst geringen Zerstäubung und einer guten Reflexion des nach der Elektrodenseite emittierten Lichtes. Die geringere Zerstäubung ergab die Möglichkeit einer Stromsteigerung, wobei sich durch gleichzeitige Erhöhung des Gasdruckes ein Nichtansteigen der Brennspannung, also ein normal bleibender Katodenfall, erreichen ließ. Zur Konzentration des frontal abgestrahlten Glimmlichtes werden auf die Kolben teilweise Glaslinsen aufgeschmolzen (**Bild 2–6**).

Bei den *Leuchtstoff*-Signalglimmlampen wird der Gasfüllung Quecksilberdampf zugesetzt, der zur UV-Anregung des auf der Kolbeninnenwand aufgebrachten Leuchtstoffes dient, der seinerseits wieder ein seiner Emissionsfarbe entsprechendes Licht ausstrahlt. In der Glimmröhre findet der gleiche Energieumwandlungsprozeß statt wie in der Leuchtstoffröhre, auch das Aufbringen der fluoreszierenden Schicht auf die Kolbenwand erfolgt in einem ähnlichen Verfahren wie bei der Leuchtstoffröhren-Fertigung. Solche Leuchtstoff-Glimmlampen (**Bild 2–7**) werden heute in roten, gelben, orangenen, grünen, blauen und weißlichen Farbtönen angeboten, wobei nach Bedarf auch Mischfarben zu erzielen sind.

Bild 2–6 Signalglimmlampe vom Typ MGL mit aufgeschmolzener Glaslinse (ERG)

Links: Bild 2–5 Systemaufbau mit Kalotten- und Kegelring-Elektroden für Röhren mit „erhöhter Leuchtdichte"

Bei den grünen ERG-Glimmlampen bleibt der Klarglaskolben unbeschichtet und das Fluoreszenzmaterial wird auf die Katode aufgetragen. Durch die ungehinderte Sicht auf die grün leuchtende Elektrodenfläche entsteht der Eindruck eines rein grünen Glimmlichtes. Da der grüne Leuchtstoff einen erheblichen Anteil blaues Licht aussendet, ist mit Hilfe eines geeigneten Blaufilters auch eine blaue Anzeigefarbe zu erhalten.

Zum Einbau der Signalglimmlampen in Schaltfelder oder in Geräte bedient man sich zweckmäßig der praktischen *Einbaufassungen* für Einlochmontage, die sich in vielen Ausführungen und Größen auf dem Markt befinden. Die Fassungen sind für Löt-, Schraub- und AMP-Anschluß eingerichtet. Die Linsen bzw. die Fenster der Fassungen sollten – um Lichtverluste zu vermeiden – möglichst aus farblosem Glas oder Kunststoff gewählt werden, zumal Glimmröhren heute in allen vorkommenden Signalfarben zu haben sind. Besitzt die vorgesehene Glimmröhre keinen eingebauten Widerstand, ist dieser vorteilhaft unmittelbar an einem Fassungskontakt anzuschließen.

Sehr viel verwendet werden – auch von Seite der gerätebauenden Industrie – die *Einbauglimmlampen*, bei denen Signallampe, Fassung und Vorwiderstand eine Einheit bilden. In vielen Fällen stellen sich Einbauglimmlampen sogar billiger als die getrennte Anschaffung von Glimmröhre, Widerstand und Fassung. Einbau-

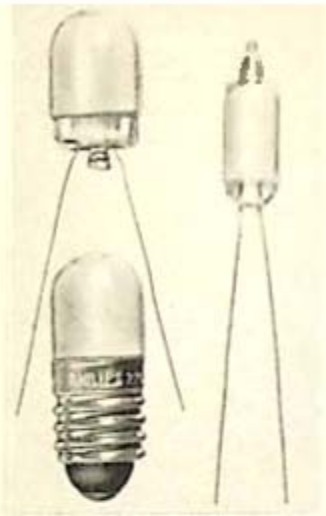


Bild 2–8 Einbauglimmlampe Typ SGFQ mit quadratischer Front für Einlochmontage und Schraubanschluß. Lebensdauererwartung für 220-V-Lampen etwa 50 000 Stunden, für 115-V-Lampen über 5000 Stunden [Cer]

Links: Bild 2–7 Leuchtstoff-Glimmlampen GL 8/grün (rechts), GL 12/grün (links oben) und GL 40 D/grün (links unten) [Phi]

glimmlampen befinden sich ebenfalls in einem sehr breiten Typenprogramm im Handel, überwiegend aus hellen oder dunklen (auch hitzebeständigen) Kunststoffen mit runden, quadratischen oder rechteckigen Frontlinsen in flacher oder gewölbter Form (**Bild 2–8**). Ihre Einlochmontage ist sehr einfach durchzuführen, oft genügt schon das Hineindrücken der Einbauglimmlampen in die Bohrung, wobei dann Federn oder Schnellspann-Federringe das Festhalten übernehmen.

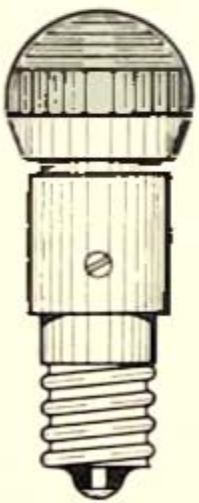


Bild 2–9 Blinkende Signalglimmlampe mit gewölbter Linse [Bez]

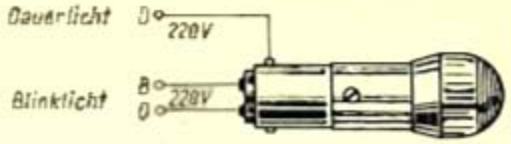


Bild 2–10 Signalblinkglimmlampe SBL–U, umschaltbar auf Blink- oder Dauerlicht [Bez]

Von der Tatsache ausgehend, daß in Kontrollanlagen und Prüfeinrichtungen eine aufleuchtende Warnlampe leicht übersehen werden kann, besonders dann, wenn in ihrer Nachbarschaft noch mehrere andere Lampen brennen, wurde der *elektronische Signalblinker* [Bez] entwickelt (**Bild 2–9**). Obwohl die Abmessungen dieser Blinker nicht viel größer sind als die einer entsprechenden normalen Signalglimmlampe, enthält der Blinker neben der Glimmröhre und dem Vorwiderstand eine komplette, miniaturisierte Kippschaltung (Blinkschaltung) mit stufenlos regelbarer Blinkfrequenz zwischen etwa 20 und 180 Lichtblitzen/min. Interessant hierbei ist, daß das Blinklicht viel auffälliger und auch heller erscheint als das Dauerlicht derselben Glimmlampe. Die Signalblinker sind für alle gebräuchlichen Netzspannungen und mit dem Sockeln E 10, E 14, BA 15d sowie einem Zweistiftsockel lieferbar. Eine Sonderausführung stellt der Signalblinker vom Typ SBL-U [Bez] dar, der drei Anschlüsse besitzt (**Bild 2–10**) und auf Dauerlicht (z. B. zur Anzeige des Normalzustandes) oder auf Blinklicht (z. B. zur Anzeige einer Störung) umschaltbar ist.

2.2 Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren

Bei den Ziffern- und Anzeigeröhren handelt es sich um neongefüllte Glimmröhren mit einer Anode und mehreren Katoden, die, elektrisch voneinander getrennt, übereinander liegen, aus gebogenem Draht bestehen und die Form von Ziffern, Zeichen oder Buchstaben aufweisen (**Bild 2–11**). Wird dann an die Anode und eine beliebig wählbare Katode eine ausreichend hohe Spannung gelegt, leuchtet die betreffende Katode (d. h. das von ihr gebildete Zeichen) auf.

Die *Ziffernanzeigeröhren* enthalten neben einer gemeinsamen Anode zehn Katoden in Form der arabischen Ziffern 0–1–2–3–4–5–6–7–8–9. Der Einbau des Elektrodensystems kann in zwei Lagen erfolgen, einmal liegt das Katodenpaket parallel zum

Links: Bild 2–11 Übereinanderliegende, voneinander isolierte Drahtkatoden in einer Glimmlicht-Ziffernanzeigeröhre

Bild 2–12 Ziffernanzeigeröhre für frontale Ablesung (Val)

Röhrenboden (**Bild 2–12**) und das andere Mal parallel zur Röhrenlängsachse (**Bild 2–13**). Die erste Ausführung, bei der man das Ziffernbild von oben betrachtet, wird wegen der Einsparung an Einbauhöhe bevorzugt. Bei einer dritten Art von Anzeigeröhren sind die Ziffern ringförmig angeordnet (36°-Teilung), doch eignen sich diese Röhren infolge ihrer kleineren Zifferngröße nur für eine Ablesung aus der Nähe, andererseits haben sie den Vorteil, daß sie sich mit kleinen Spannungen ansteuern lassen und mehrere Ziffern gleichzeitig anzeigen können. Zur Anzeige von Brüchen (¼, ½, ¾ und 1) steht ebenfalls eine Röhre zur Verfügung. Verschiedene Röhren sind mit einer zusätzlichen Katode in Form eines Dezimalpunktes ausgestattet, die an einen eigenen Sockelstift angeschlossen ist.

Die Anzeigeröhren werden mit unterschiedlichen Ziffernhöhen gefertigt, die bei der Mehrzahl der Röhren zwischen 3 mm und 50 mm liegen. Die derzeit größten Ziffernhöhen weisen japanische Röhrentypen auf, die auch auf dem deutschen Markt erhältlich sind. Der Typ I.D 669 (NEC), der für frontale Ablesung eingerichtet ist, hat beispielsweise 74 mm hohe Ziffern, während der Typ GR–411 (Lab) für seitliche Ablesung sogar 135 mm hohe Ziffern aufweist. Neben der Leuchtdichte der Neonentladung ist die Ziffernhöhe mitbestimmend für die maximale Sichtweite, bis zu der die Ziffern noch deutlich zu lesen und sicher zu unterscheiden sind. Für die fünf Größenklassen der meist verwendeten Nixie-Ziffernanzeigeröhren ergeben sich z. B. folgende Sichtweiten:

Links: Bild 2–13
Ziffernanzeigeröhre
für seitliche Ablesung
[Val]

Bild 2–14 Standard-Nixie-Anzeigeröhre im Rechteckkolben mit 20,3 mm Ziffernhöhe [Bur]

Röhrengröße	Miniatur	Standard	Super	Large	Jumbo
Ziffernhöhe [mm]	7,6	15,2	20,3	34,8	50,8
maximale Ablesentfernung [m]	3...4	8...9	10...12	18...19	27...30

Bei den „*Weitwinkel*"-Anzeigeröhren ist der Elektrodenaufbau so gestaltet, daß die Ziffern auch bei sehr schräger Ablesung (unter einem Winkel bis zu 80° zur Röhrenachse) noch deutlich erkennbar sind. Einige Typen der Nixie-Röhren werden in rechteckigen Kolben (**Bild 2–14**) geliefert und bieten die Möglichkeit, die Röhren dicht nebeneinander aufzustellen.

In den Ziffernanzeigeröhren vom *Quibinär-Typ* (z. B. ZM 1030 [Val], B-5025 [Bur]) sind die Ziffernkatoden innerhalb der Röhre zu fünf Paaren 0–1, 2–3, 4–5, 6–7 und 8–9 verbunden, außerdem sind zwei Anoden vorhanden, eine für die „geraden" und eine für die „ungeraden" Katoden (**Bild 2–15**).

Bei den Zeichenanzeigeröhren sind die Drahtkatoden in Form elektrotechnischer oder mathematischer Zeichen wie +, −, ∼, Ω, A, V, °/₀ gebogen. Sonst gleicht ihr Aufbau dem der Ziffernanzeigeröhren. Es gibt Röhren mit nur zwei Zeichen (z. B. + und −), aber auch Röhren mit fünf und noch mehr verschiedenen Zeichen.

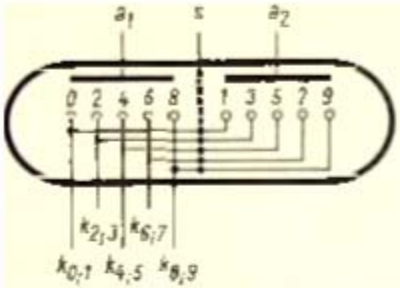


Bild 2–15 Innenschaltung einer Quitinär-Ziffernanzeigeröhre

Zur letzten Gruppe der Anzeigeröhren gehören die *alphanumerischen Typen* [Bur], die in einer einzigen Röhre die Buchstaben des Alphabetes, die Ziffern 0 bis 9 und dazu noch einige Symbole in stilisierter Form bilden können. Die Anzeigefläche ist nach **Bild 2–16** in ein Gitterfeld aus 14 Katodenstäben geteilt, die, in verschiedenen Kombinationen zusammengeschaltet, an Spannung gelegt werden und sich mit Glimmlicht überziehen. Das Anzeigebild ist seitlich oder von oben her (frontal) zu betrachten, im letzten Fall weisen die Kolben wieder Rechteckform auf, so daß die Röhren zur Erzeugung eines längeren Schriftbildes eng aneinanderrücken können. Die Röhren werden mit drei Zeichengrößen (bis 63,5 mm Höhe) hergestellt, der kleinste Typ im Rechteckkolben auch mit Kursivschriftzeichen.

Die Mehrzahl der Anzeigeröhren ist mit Stiftanschlüssen ausgestattet, sockellose Röhren mit Anschlußdrähten gehören zu den Ausnahmen. In hellen Räumen oder bei ungünstigem Lichteinfall

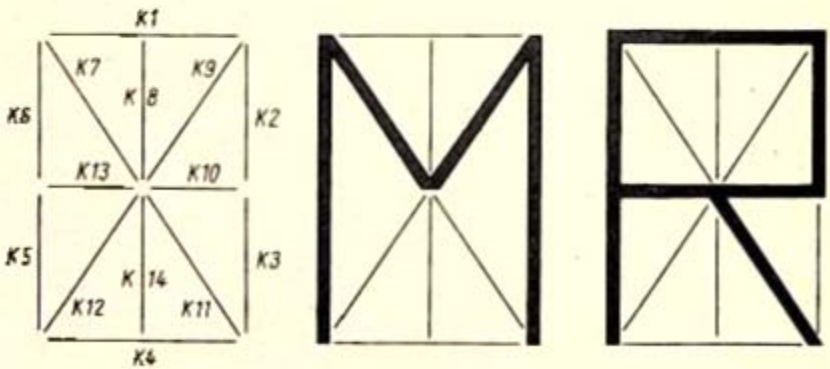


Bild 2–16 Anordnung der Katodenstäbe in einer alpha-numerischen Anzeigeröhre mit zwei Buchstaben-Beispielen [Bur]

kann es am Röhrenkolben zu Reflexionen kommen, die den Kontrast, die Klarheit und Deutlichkeit des Ziffernbildes vermindern. Dann empfiehlt es sich, der Röhre ein *zirkular polarisiertes Neutral- oder Braunfilter* zur reflexionsfreien Ablesung vorzusetzen. Annähernd der gleiche Effekt läßt sich mit Hilfe eines roten Vorsatzfilters oder durch einen *Farbfilterüberzug* des Kolbendoms oder des ganzen Kolbens erreichen, wie er bei einer Reihe von Anzeigeröhren zu finden ist.

Die Lebensdauererwartung der Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren liegt sehr hoch und hängt in der Hauptsache vom Entladestrom und von der Zahl der Katodenwechsel während der Röhrenbetriebszeit ab. Allgemein hat eine Unterschreitung des in den Daten angegebenen Nennstromes eine Erhöhung der Lebensdauer zur Folge, allerdings darf der Strom nicht so klein werden, daß die volle und gleichmäßige Glimmbedeckung der Katoden gestört ist. Eine Überlastung der Röhren führt zu schnellerer Elektrodenzerstäubung und zu einer Verkürzung der Lebensdauer. Einen sehr großen Einfluß auf die Lebensdauer hat die *Umschalthäufigkeit* der Katoden. Bei einem Betrieb mit wechselnder Ziffernanzeige, wobei alle 100 Stunden mindestens ein Wechsel erfolgen muß, ist mit einer bis zu sechsmal längeren Lebensdauer zu rechnen als bei Dauerbetrieb der Röhre mit ständiger Benutzung nur einer einzigen Ziffer.

Bei Einhaltung der empfohlenen Betriebsdaten wird beispielsweise für die Anzeigeröhren ZM 1020 [Val] und ZM 1021 [Val] bei Dauerbetrieb eines Zeichens eine Mindestlebensdauererwartung von 5000 Stunden und bei wechselnder Anzeige (Zeichenwechsel $\leq$ 100 Stunden) eine Lebensdauer von 30 000 Stunden angegeben. In den USA bietet man verschiedene Serien von Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren in zwei Ausführungen an. In der normalen Ausführung rechnet man mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 500 bis 1500 Stunden bei Dauerbetrieb einer Katode und von 3000 bis 5000 Stunden bei Zeichenwechsel ($\leq$ 24 Stunden). In der Ausführung als „Ultra"-Langlebensdauerröhre wird bei Dauerbetrieb eines Zeichens eine Lebensdauer von 20 000 Stunden und bei einem Zeichenwechsel $\leq$ 100 Stunden eine Lebensdauererwartung von 100 000 Stunden und noch mehr genannt.

2.3 Kaltkatoden-Relaisröhren (Glimmrelaisröhren)

Da eine Glimmröhre erst nach Überschreiten der Zündspannung stromleitend wird, ist jede Glimmröhre – auch in ihrer einfachsten Art – als *spannungsgesteuertes Relais* zu betrachten, das den Vorzug besitzt, keinen Leerstrom aufzunehmen. Die Ansprechempfindlichkeit läßt sich durch mehr oder weniger großes Annähern der „Vorspannung" an den Zündwert einstellen. Ist der vom Glimm[Brenn]strom durchflossene Lastwiderstand genügend hoch, kann der sonst notwendige Schutzwiderstand fortfallen. Die gezündete Entladung bleibt bei *Gleichstrom*betrieb so lange bestehen, bis man die Elektrodenspannung unter die Löschspannung senkt oder den Entladungskreis unterbricht, entweder durch einen Schalter oder ein Unterbrecherrelais. In *Wechselstromkreisen* erlischt die Entladung automatisch nach jeder positiven Halbwelle (**Bild 2–17**) und wird mit Beginn der folgenden – d. h. nach Erreichen der Zündspannung – erneut gezündet.

So einfach eine Schaltung dieser Art auch ist, sind ihrer breiteren praktischen Anwendung doch enge Grenzen gesetzt, einmal durch die Inkonstanz der Zündspannung, d. h. durch die mangelhafte Reproduzierbarkeit des Zündeinsatzes, und dann durch die geringe Empfindlichkeit.

Sicherer läßt sich der Zündeinsatz bestimmen, wenn die Zweielektroden-Glimmröhre (Glimmdiode) mit einer *Außensteuerung* arbeitet, wie es beispielsweise bei dem *„Elektronischen Druckknopf"* GK 11 [Cer] (**Bild 2–18**) geschieht. Die Außensteuerelektrode befindet sich auf der Stirnfläche des Röhrenkolbens, während die Entladungsstrecke aus einer ringförmigen Katode und

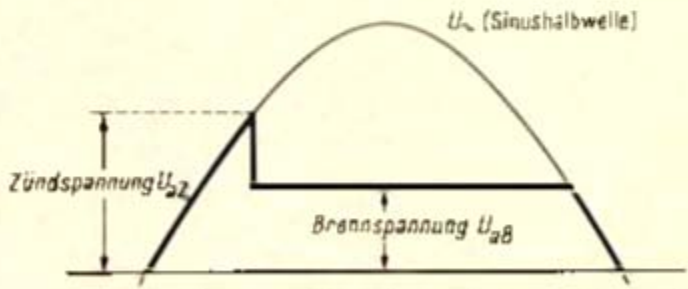


Bild 2–17 Spannung zwischen Katode und Anode bei Speisung mit Wechselstrom (Sinushalbwelle)

Links: Bild 2–18 „Elektronischer Druckknopf" GK 11 (Cer) (Relaisröhre mit Außensteuerung)

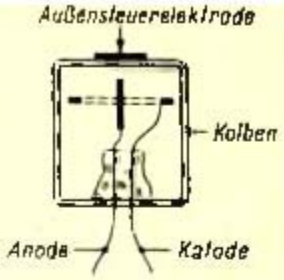
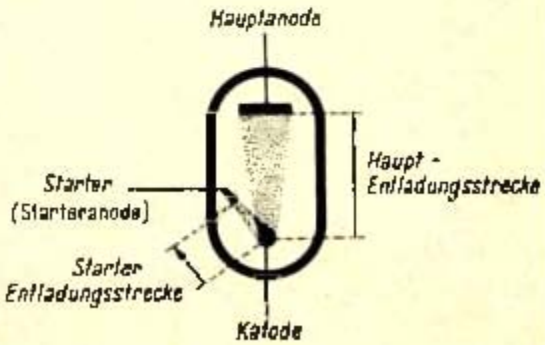


Bild 2–19 Schematischer Systemaufbau des GK 11

einer stabförmigen Anode besteht (**Bild 2–19**). Die Steuerung erfolgt durch Berühren der Außenelektrode, die dadurch auf Erdpotential gebracht wird. Da die Anodenspeisespannung und damit auch die Katode auf einer Wechselspannung gegen Erde liegt, tritt zwischen Steuerelektrode und Katode ein kapazitiver Verschiebesteuerstrom auf, der zur Zündung der Anodenstrecke führt. Die gezündete Entladung ist am Glimmlicht erkennbar.

Eine erhebliche Empfindlichkeitssteigerung tritt ein, wenn die Steuerung der Zündung in den Entladungsraum verlegt wird. Neben der Anode und der Katode erhält das Röhrensystem dazu noch eine dritte Elektrode, eine *Steuerelektrode* (**Bild 2–20**) – meistens in Form eines in Katodennähe angebrachten Drahtstiftes oder Drahtbügels –, die als *Starterelektrode* (kurz Star-

Bild 2–20 Relaisröhre mit Haupt- und Starterentladungsstrecke



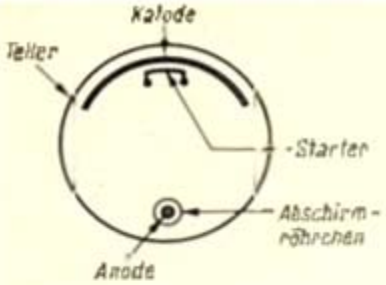
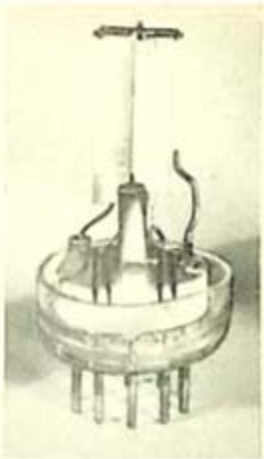


Bild 2–21 Schema-Querschnitt durch das Entladungssystem einer Relaisröhre

Rechts: Bild 2–22 Elektrodenaufbau einer Relaisröhre (Cer). Der rechts sichtbare, nahe bis an die Katode herangeführte Drahtstift ist die Zünd- oder Starterelektrode; vorn das Abschirmröhrchen mit der Hauptanode



ter] und manchmal auch als Gitter bezeichnet wird. Der Starter stellt nichts anderes dar als eine zusätzliche Anode [Starteranode], die zusammen mit der Katode eine zweite Entladungsstrecke, die sogenannte Starterstrecke bildet, die aber wesentlich kürzer ist als die Hauptentladungsstrecke zwischen der Hauptanode und der Katode. Sie dient zur Einbringung von Ladungsträgern in den Entladungsraum, zur Vorionisierung und zur Einleitung der Zündung der Hauptentladung. Eine solche Starterelektrode kann jedoch die Zündung der Hauptentladung nur auslösen, sie verliert nach der Zündung ihre Steuerfähigkeit und ist keineswegs in der Lage, eine brennende Entladung zum Verlöschen zu bringen.

Glimmröhren mit zusätzlicher Zünd- oder Starteranode werden *Glimmrelaisröhren*, *Kaltkatoden-Relaisröhren* oder *Kaltkatoden-Thyratrons* genannt. Die letzte Bezeichnung sollte streng genommen nur den Glimmröhren zukommen, bei denen anstelle des stiftförmigen Starters ein Steuergitter eingebaut ist. Einen Schemaquerschnitt durch das Entladungssystem einer Relaisröhre zeigt **Bild 2–21**, der Elektrodenaufbau ist aus **Bild 2–22** zu ersehen.

Die Steuerung der Glimmrelaisröhre erfolgt in der Weise, daß mit Hilfe eines Spannungsimpulses, der die Starterzündspannung selbstverständlich übersteigen muß, die Entladungsstrecke Katode–Starter gezündet wird; es kommt zu einer starken Vermehrung der Ladungsträger, die von der Starter-Entladungs-

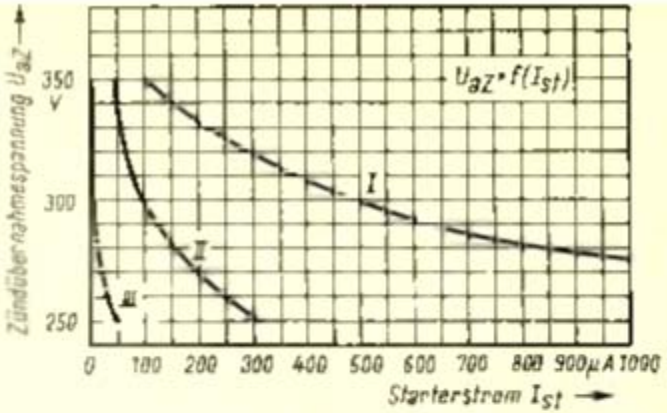


Bild 2–23 Übernahmekennlinie $U_{aZ} = f(I_{st})$ der Relaisröhre Z 861 X (WF)
Parameter I: Direktsteuerung (Maximalwert)
Parameter II: Direktsteuerung (Mittelwert)
Parameter III: Kippsteuerung, C = 200 pF (Mittelwert)

strecke geliefert werden, und die Entladung springt auf die Hauptentladungsstrecke Katode–Hauptanode über. Die Steuerspannungen liegen verhältnismäßig hoch, im Mittel zwischen 30 und 50 V, während die Steuerströme dagegen außerordentlich klein sind; ihre Werte gehen herunter bis zu einigen Mikroampere und bei verschiedenen Röhrentypen sogar noch bis unter 1 µA. Anstelle eines Spannungsimpulses läßt sich die Steuerung auch mit einer Gleichspannung oder mit einer Sinus-Wechselspannung durchführen, die beide einer Starter-Gleichvorspannung überlagert sein können.

Die an der Hauptanode stehende Anodenspannung, bei der die Hauptstrecke zündet, hängt im wesentlichen von der Stärke des Starterstromes (Steuerstromes) ab. Mit dem Ansteigen des Steuerstromes sinkt die zum Zünden der Hauptstrecke benötigte Spannung. Sie muß jedoch in allen Fällen oberhalb der Brennspannung der Hauptstrecke bleiben. Die Abhängigkeit der Anodenspannung, bei der die Hauptstrecke die Entladung übernimmt, vom Starterstrom ist in der *Übernahmekennlinie* $U_{aZ} = f(I_{st})$ (**Bild 2–23**) festgelegt. Diese Anodenspannung für die Zündübernahme ist nicht zu verwechseln mit der in den Daten angegebenen Anodenzündspannung. Nur bei fehlendem Starterstrom ($I_{st} = 0$) ist der Wert der Übernahmespannung identisch mit der Anodenzündspannung.

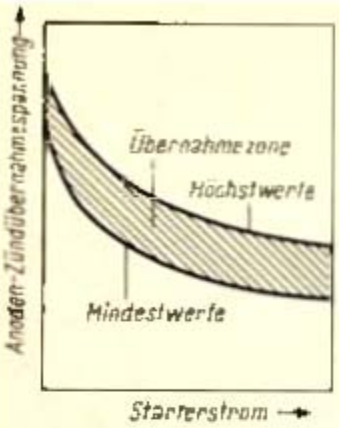


Bild 2–24 Übernahmezone

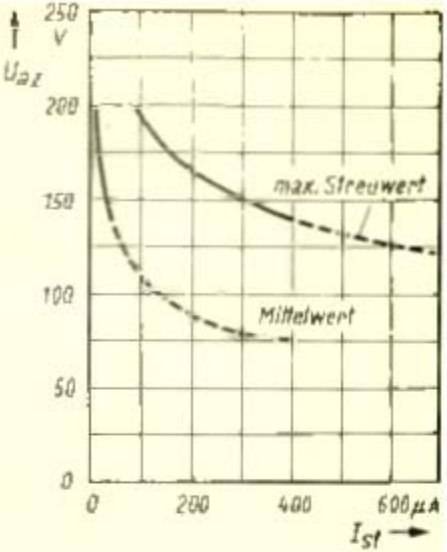


Bild 2–25 $U_{aZ} = f(I_{st})$ der Relaisröhre 5823 (Val)

Wegen der bei Glimmröhren unvermeidlichen Exemplarstreuungen, vor allem in den Zündwerten, gelten die Übernahmekennlinien jeweils nur für ein einziges Exemplar eines Röhrentyps. Bei anderen Exemplaren des gleichen Röhrentyps können die Kurvenwerte mehr oder weniger über- oder unterschritten werden. Deshalb geben die meisten Röhrenhersteller auf den Kurvenblättern die Übernahmezone an (**Bild 2–24**), die sämtliche Exemplarstreuungen des betreffenden Röhrentyps berücksichtigt. Die Übernahmezone wird auf der einen Seite von den möglichen Höchstwerten und auf der anderen Seite von den möglichen Mindestwerten begrenzt. Die Breite des Streubereiches hängt in erster Linie vom Katodenaufbau, von der Elektrodenanordnung und von der Herstellungstechnologie des Röhrentyps ab. Anstelle des gesamten Streubereiches sind auf manchen Datenblättern nur die Kurven der *maximalen* Streuwerte und der *Mittelwerte* eingezeichnet (**Bild 2–25**).

Ein weiteres Charakteristikum der Relaisröhre ist die Zündkennlinie (Zünddiagramm), die als Grenzlinie zwischen dem Sperr- und Entladungsbereich dargestellt wird. Während im Sperrbereich keine Zündung erfolgen kann, hat im Entladungs-

bereich mindestens eine Entladungsstrecke gezündet. Anders ausgedrückt: Die Zündkennlinie gibt an, bei welchen Zündanoden(Starter)spannungen und welchen Anodenspannungen eine Entladungsstrecke zündet. Im Koordinatennetz einer Zündkennline (**Bild 2–26**) sind die Spannungen U_{ak} (Anode–Katode) und U_{stk} (Starter–Katode) eingetragen. Da in Glimmröhren Entladungen zwischen beliebigen Elektroden und mit jeder Spannungspolarität auftreten können, läßt sich für jeden Quadranten eine Zündkennlinie konstruieren, die dann alle vier zusammen eine geschlossene Gesamtkennlinie bilden (**Bild 2–27**). Für die Mehrzahl der Relaisröhren ist auf Grund ihres Aufbaues ein Betrieb nur im I. Quadranten zulässig, für den Betrieb im II. Quadranten sind nur wenige Röhren geeignet, z. B. der Typ Z 804 U (Phi). Welcher Quadrant für einen Röhrentyp in Frage kommt, ist in den technischen Daten vermerkt.

Die bereits erwähnten Exemplarstreuungen nehmen natürlich auch auf den Verlauf der Zünnkennlinie Einfluß, so daß hier ebenfalls – wie bei der Übernahmekennlinie – mit einem mehr oder weniger breiten Streubereich zu rechnen ist. Ein solches Zünddiagramm, das die Exemplarstreuungen aller Röhren eines Typs berücksichtigt, zeigt **Bild 2–28**. Die Kennlinie sagt aus, daß innerhalb des Sperrbereiches mit Sicherheit keine Zündung erfolgt und daß innerhalb des Arbeitsbereiches (Entladebereiches)

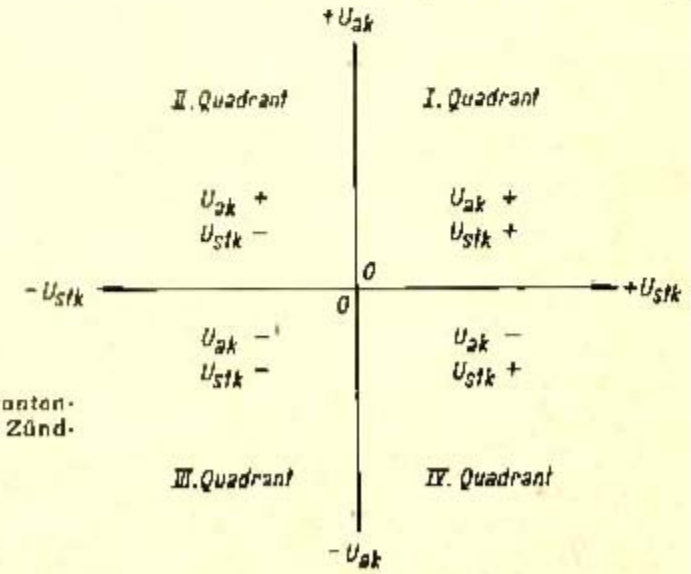


Bild 2–26 Vier-Quadranten-Koordinatennetz der Zündkennlinie

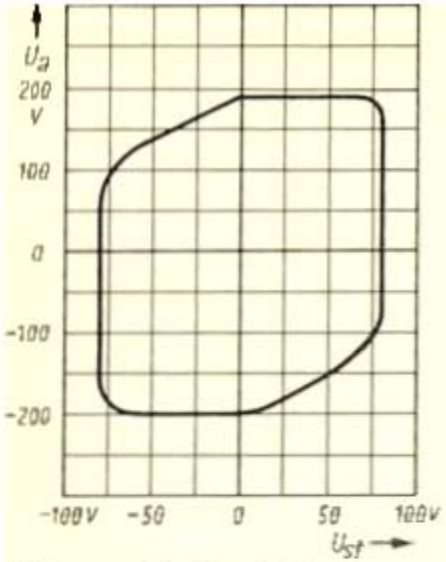


Bild 2–27 Zündkennlinie für vier Quadranten

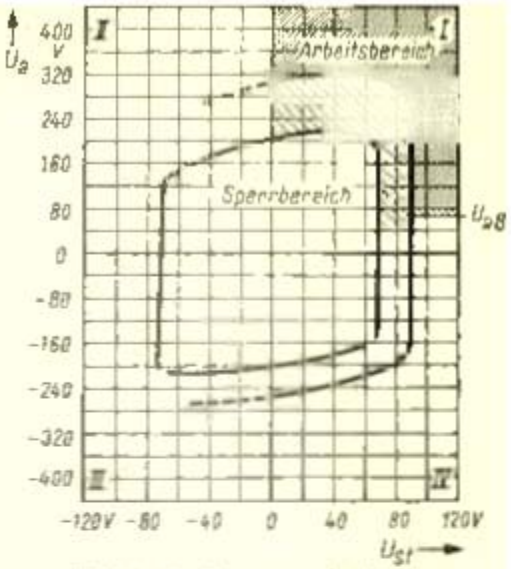


Bild 2–28 Sperr- und Arbeitsbereich der Relaisröhre 5823 (Tel)

mit Sicherheit eine Strecke zündet. In dem dazwischen liegenden Gebiet (weit schraffiert) besteht Zünd- und Sperrunsicherheit, hier *kann* eine Röhre zünden, sie kann jedoch auch sperren.

Statt der alle vier Quadranten erfassenden Kennlinie wird auf den Datenblättern oft nur ein Quadrant wiedergegeben, nämlich der, in dem für die betreffende Röhre der Betrieb zulässig ist. Manchmal wird auch nur eine Kurvenlinie gezeichnet, entweder

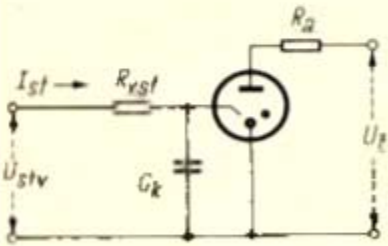


Bild 2–29 Prinzipschaltung der Kippsteuerung

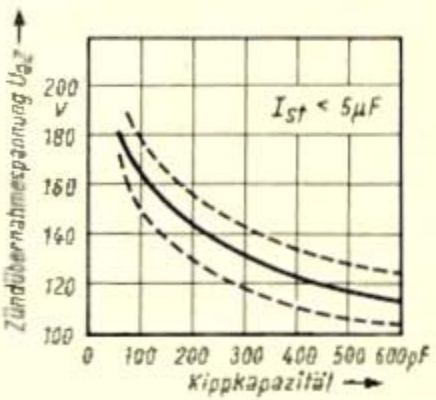


Bild 2–30 Abhängigkeit der Anoden-Zündübernahmespannung von der Kippkapazität

die Grenzlinie, die den sicheren Sperrbereich umschließt, oder die Kennlinie, die den sicheren Entladungsbereich begrenzt.

Das Zünden der Starterstrecke kann in Direktzündung durch Erhöhung der Starterspannung – mit oder ohne Vorspannung – bis über den Starter-Zündwert oder durch Kippsteuerung vorgenommen werden. Bei der letzten wird die sehr hohe Eingangsimpedanz der Relaisröhre ausgenutzt und mit allerkleinsten Starterströmen gesteuert, für die bei Anwendung geeigneter Röhren Werte von 10^{-12} A ausreichen können. Normalerweise bewegen sich die Kippsteuerströme im Mikroamperebereich. Die nach **Bild 2–29** aufgebaute Kippsteuerung (oder Kippzündung) zeigt einen parallel zur Starterstrecke geschalteten Kondensator C_K, der von der Startervorspannung aufgeladen wird und sich nach Eintreffen des Zündimpulses und Erreichen der Starter-Zündspannung über die Steuerstrecke (auf deren Brennspannung) entlädt. Die bei der Kippentladung auftretende, zum größten Teil vom Kondensator gelieferte Stromspitze sorgt dann für eine sichere Übernahme der Entladung von der Hauptstrecke. Je größer die Kapazität ist, um so mehr erniedrigt sich die für die Zündübernahme erforderliche Anodenspannung (**Bild 2–30**). In der Praxis werden normalerweise Kippkapazitäten von rund 100 pF bis etwa 2 nF benutzt.

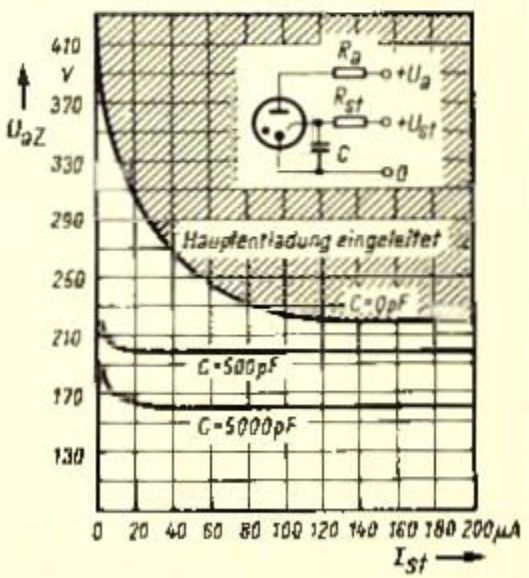


Bild 2–31 $U_{aZ} = f(I_{st})$ *der Relaisröhre 5823 A (Tal), C = Parameter*

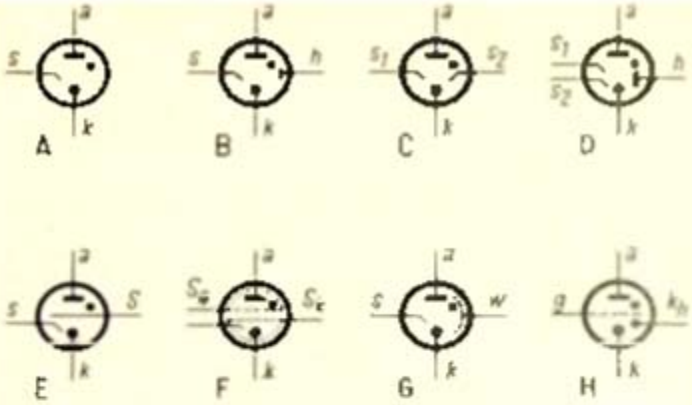


Bild 2–32
Glimmrelaisröhren-Arten und ihre Symbole

In vielen Übernahmekennlinien ist die Kippzündung bereits berücksichtigt, teilweise sind mehrere Parameter mit verschiedenen Kippkapazitäten eingezeichnet. Ein Beispiel ist in **Bild 2–31** gezeigt.

In ihrer einfachsten Form besteht die Kaltkatoden-Relaisröhre aus einem Dreielektrodensystem („Glimmtriode") mit einer Katode k (**Bild 2–32–A**), einer Anode a und dem Starter s als Steuerelektrode (Zündelektrode). Für schnelle Schaltungen, in denen die Zündverzögerungszeiten und Zündunsicherheiten eine Rolle spielen, kommen Relaisröhren mit einer vierten Elektrode, mit einer Hilfsanode, zur Anwendung (h in Bild 2–32–**B**). Röhren mit vier Elektroden werden manchmal auch als „Glimmtetroden" bezeichnet. Die Hilfsanode liegt dabei über einen hochohmigen Begrenzungswiderstand an der positiven Speisespannung, so daß eine ständige Entladung zwischen der Katode k und der Hilfsanode h besteht, durch deren Entladungsstrom das Gas vorionisiert wird. Die Zündzeiten, d. h. die Aufbauzeiten der Entladung werden dadurch bis auf einige Mikrosekunden herabgedrückt, außerdem wird jede Zündbeeinflussung durch äußere Einstrahlungen, wie Licht oder kosmische Strahlung, praktisch beseitigt. Der Hilfselektroden-Vorwiderstand ist zweckmäßig direkt am Röhrensockel anzuschließen, damit nicht etwa durch Leitungskapazitäten ausgelöste Kippschwingungen in der Hilfsstrecke entstehen können. Sind die Zündverzüge für eine Schaltung ohne Bedeutung, ist die unbenutzte Hilfsanode an die Katode zu legen.

Neben diesen beiden Grundarten gibt es noch weitere Ausführungen von Relaisröhren-Systemen. So enthält eine Reihe von Röhren zwei gleichwertige Starterelektroden (Bild 2–32–**C**), mit denen sich zwei getrennte Steuerkreise aufbauen lassen. Solche Röhren mit mehreren Eingängen eignen sich vor allem für logische Schaltungen. Sie ermöglichen drei Zündungen: erstens die Zündung der Hauptentladungsstrecke, zweitens die Zündung über den Starter s_1 und drittens die Zündung über den Starter s_2. Ist nur ein Steuerkreis notwendig, dann wird der zweite Starter mit der Katode verbunden. Zusätzlich kann eine Röhre mit zwei Zündelektroden auch noch mit einer Hilfsanode ausgestattet sein (Bild 2–32–**D**). Für spezielle Schaltungszwecke verfügen verschiedene Typen über Abschirmungen innerhalb des Systems, entweder als einfacher oder als doppelter Schirm für den Katoden- und für den Anodenteil (Bild 2–32–**E** und **F**). Bei einigen Relaisröhren ist ein Wandkontakt (Wandableiter) vorgesehen (Bild 2–32–**G**), der die Röhre vor äußeren elektrostatischen Feldern schützt und eventuelle Wandaufladungen ableitet. Ein solcher Schirm kann auch dann von Vorteil sein, wenn die Relaisröhre in einem geerdeten Abschirmbecher untergebracht ist – sofern der Abstand zwischen Röhrenkolben und Becherinnen-

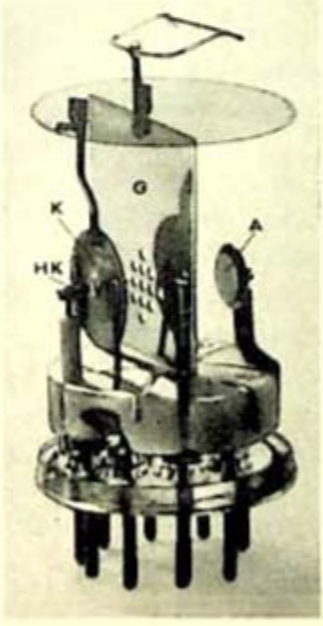


Bild 2–33 *Systemaufbau des Glimmthyratrons GT 21 für 220 V~ (Cer). K = Hauptkatode, G = Steuergitter (perforierte Blechscheibe), A = Anode, HK = Hilfskatode*

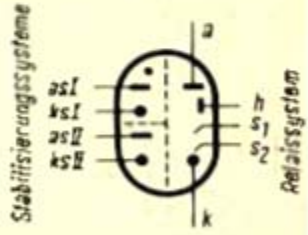


Bild 2–34 *Elektrodenschema der Kombinationsröhre ESR 2 (Ele)*

wand weniger als 3 bis 4 mm beträgt – oder wenn sich die Röhre in nächster Nähe von Metallteilen befindet, die auf Katodenpotential liegen.

Das letzte Symbol **H** in Bild 2–32 zeigt schließlich noch eine gittergesteuerte Relaisröhre, bei der die stiftförmige Starterelektrode durch ein Steuergitter ersetzt ist. Außerdem wurde eine Hilfskatode k_h eingebaut. Einen derartigen Systemaufbau besitzt das Glimmthyratron GT 21 [Cer] (**Bild 2–33**), das für Speisespannungen von 220 $V_{\sim}$ und 300 $V_{=}$ zur Verfügung steht und eine Steuerspannung von *nur rund* 5 V benötigt. Damit läßt sich diese Relaisröhre ohne besonderen Schaltungsaufwand auch von Transistoren, NTC-Widerständen und Fotodioden ansteuern.

Die Relaisröhre ESR 2 [Ele] stellt eine Kombinationsröhre mit *drei* Systemen und *drei getrennten* Katoden dar (**Bild 2–34**). Sie enthält ein Relaissystem mit der Hauptentladungsstrecke a–k, zwei Startern s_1, s_2 und einer Hilfsanode h sowie zwei Glimmstrecken asI–ksI und asII–ksII für die Spannungsstabilisierung. Jede Elektrode ist mit einem eigenen Sockelstift verbunden. Diese Röhre ist überall dort von Vorteil, wo eine Schaltung mit stabilisierten Betriebsspannungen arbeitet, wofür sonst eine oder zwei zusätzliche Glimmstabilisatorröhren notwendig wären. Obgleich die Systeme elektrisch weitgehend voneinander unabhängig sind, müssen die in den Daten angegebenen maximal zulässigen Spannungen zwischen bestimmten Elektroden der verschiedenen Systeme eingehalten werden. Als Anodenspeisespannung sind 250...400 V zugelassen, das bedeutet, daß die ESR 2 durch direkte Gleichrichtung und (einfache) Glättung einer Wechselspannung von 220...250 V_{eff} ± 10 % zu betreiben ist.

Die Mehrzahl der Relaisröhren ist mit einer *Reinmetall*katode aus *Molybdän* ausgerüstet, die sich durch hohe Stabilität, Überlastbarkeit und sehr lange Lebensdauer auszeichnet. *Schichtkatoden*, das sind mit *Oxyd*paste belegte Katoden, haben zwar den Vorzug verhältnismäßig niedrigerer Brennspannungen, sind aber nur noch in wenigen Röhren zu finden. Einige Relaisröhren verzichten auf eine zusätzliche Hilfsentladungsstrecke (Hilfsanode-Katode) für die Vorionisierung und enthalten dafür eine β-strahlende radioaktive Substanz.

Bild 2–35 Relaisröhre Z 860 X [WF] mit 9-Stift-Sockel, mit Reinmetallkatode, für Gleichspannungsbetrieb zur vorwiegenden Verwendung in Relais- und Zählschaltungen

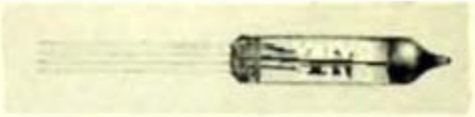


Bild 2–36 Relaisröhre Z 71 U [Val] in Subminiaturtechnik (ungesockelt mit Lät-Anschlußdrähten) mit zwei gleichwertigen Startern, mit niedrigem Scheinwiderstand im Tonfrequenzbereich, zur bevorzugten Verwendung in Schaltkreisen automatischer Telefonzentralen

Relaisröhren stehen in gesockelter Ausführung zur Verfügung, beispielsweise mit Novalsockel (**Bild 2–35**), oder in Miniatur- und Subminiaturtechnik (**Bild 2–36**), ungesockelt mit Anschlußdrähten zum direkten Einlöten der Röhre in die Schaltung. Alle Röhren sind so gebaut, daß das Glimmlicht zur Anzeige des Schaltzustandes sichtbar bleibt.

2.4 Kaltkatoden-Dekadenzählröhren

Dekadische Zählröhren mit kalter Katode sind edelgasgefüllte Glimmröhren mit zehn Hauptentladungsstrecken und dienen zum Zählen elektrischer Impulse, wobei gleichzeitig eine Ablesung des jeweiligen Zählresultates möglich ist, entweder auf optischem Wege durch das Katodenglimmlicht der gerade brennenden Entladungsstrecke oder auf elektrischem Wege über „Ablesewiderstände", die in die Katodenleitungen eingefügt sind. Die Weiterschaltung der Entladung von einer Hauptkatode zur nächsten geschieht durch den Eingangsimpuls (Zählimpuls) mit Hilfe von Zündstrecken (Hilfsentladungen). Die meistens in Stabform ausgeführten Reinmetall-Katoden sind dabei kreisförmig um eine gemeinsame Anode angeordnet. Die den Hauptanoden benachbarten Hilfskatoden haben die Aufgabe, dafür zu sorgen, daß die Entladung von einer Strecke zur nächsten stets in gleicher Richtung weitergegeben wird.

Neben der gemeinsamen Anode a (**Bild 2–37**) enthalten diese Röhren zehn Hauptkatoden $k_1 \ldots k_0$ und zehn Hilfskatoden $k_{h1} \ldots k_{h0}$, die miteinander verbunden sind und eine positive Vorspannung U_{vk} erhalten. Es sei nun angenommen, daß die Haupt-

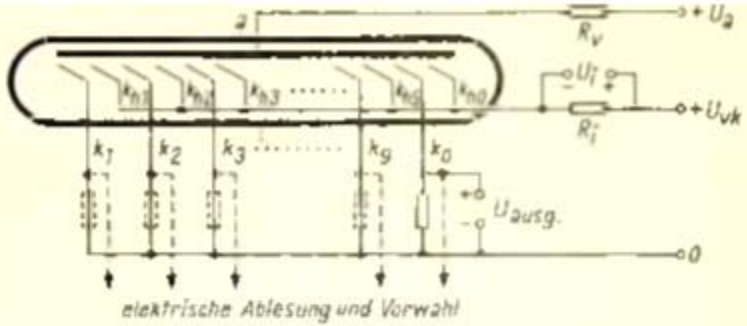


Bild 2–37 Dekadenzählröhre mit unsymmetrischen (schräg gestellten) Katoden für Vorwärtszählung

entladungsstrecke a–k_1 brennt. Erscheint jetzt an den Eingangsklemmen U_i eine die Vorspannung U_{vk} genügend überschreitende Impulsspannung (Zählimpuls), wird die Gruppe der Hilfskatoden negativ gegenüber den Hauptkatoden. Damit steht zwischen Anode und Hilfskatoden nunmehr eine höhere Spannung als zwischen Anode und Hauptkatoden, so daß die Entladung von der Hauptkatode k_1 auf eine der Hilfskatoden überspringen wird. Und zwar *nur auf eine einzige*, da nach dem Zünden der Entladung zwischen Hilfskatode und Anode lediglich die Brennspannung anliegt, die zur Zündung weiterer Hilfskatoden nicht ausreicht.

Durch Asymmetrie der Katoden (z. B. durch Schrägstellung) läßt sich erreichen, daß die Entladung, die mit den von ihr ausgehenden Ionen und Elektronen auf beide benachbarten Entladungsstrecken ionisierend (zündspannungs-erniedrigend) wirkt, ihre stärkste Steuerwirkung jedoch auf die in Zählrichtung folgende Katode hat. Die Entladung springt also von der Hauptstrecke k_1–a auf die Hilfsstrecke k_{h1}–a über, während die Entladung k_1–a erlischt, weil die Spannung zwischen beiden Elektroden unter die Brennspannung abgesunken ist. Mit dem Ende des Zählimpulses übt aus den gleichen Asymmetriegründen nunmehr die Hilfskatode k_{h1} auf die in Zählrichtung benachbarte Hauptkatode k_2 eine Steuerwirkung aus, und die Entladung springt von der Hilfsstrecke k_{h1}–a auf die Hauptstrecke k_2–a über. So rückt die Entladung mit Beginn und mit Ende jedes Zählimpulses immer einen Schritt in Zählrichtung weiter. Der zehnte Impuls zündet schließlich die Hauptstrecke k_0–a, deren

Entladestrom am Ausgangswiderstand einen Spannungsabfall liefert, der nach Verstärkung als Steuerspannung für die nächste Dekadenzählröhre dient. – Zählröhren mit unsymmetrischen Katoden können *nur in einer Richtung* zählen.

Wird Vor- und Rückwärtszählung verlangt, sind weitere zehn Hilfskatoden erforderlich. Zu solchen Röhren mit symmetrischen Katoden gehören u. a. die Typen ZM 1060 [Val] und ZM 1070 [Val], deren Elektrodenanordnung die Schemazeichnung in **Bild 2–38** wiedergibt. Die Mitte des Elektrodensystems bildet die gemeinsame Anode a, der ringförmig drei Katodensysteme gegenüberstehen. Die Hauptkatoden $k_0 ... k_9$ sind *einzeln* zu getrennten Sockelstiften geführt, während die zehn Hilfskatoden k_{hI} innerhalb des Kolbens miteinander verbunden sind und gemeinsam an einem Sockelstift liegen. Auch die zehn Hilfskatoden k_{hII} haben galvanische Verbindung und sind ebenfalls gemeinsam an einem Sockelstift angeschlossen. Die Katodenanordnung erfolgt dabei so, daß sich jede Hauptkatode k zwischen je einer Hilfskatode k_{hI} auf der einen Seite und einer Hilfskatode k_{hII} auf der anderen Seite befindet.

Während bei den Zählröhren mit (20) unsymmetrischen Katoden zur Weiterführung der Entladung von einer Hauptkatode zur nächstfolgenden ein Steuerimpuls genügt, verlangt die Röhre mit (30) symmetrischen Katoden *zwei* aufeinanderfolgende Steuerimpulse [**Bild 2–39**], von denen der erste der einen Hilfskatodengruppe und der zweite der anderen Hilfskatodengruppe zugeführt wird. Die beiden Steuerimpulse gewinnt man durch Spaltung des Zählimpulses. Das kann beispielsweise dadurch geschehen, daß man den Zählimpuls durch

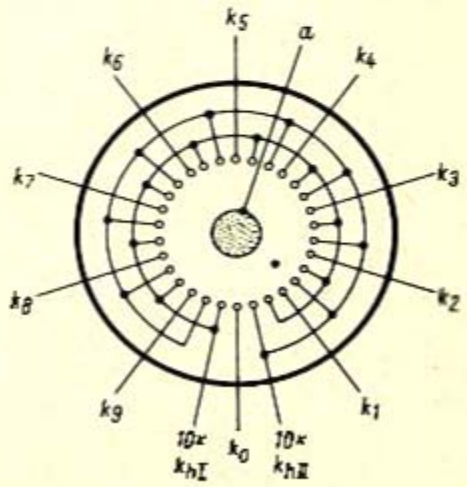


Bild 2–38 Elektrodenanordnung der Zählröhre ZM 1070 [Val]

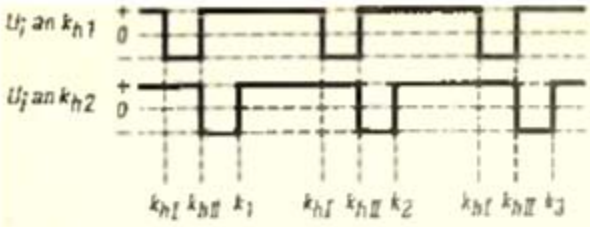


Bild 2–39 Ansteuerung einer Zählröhre mit (30) symmetrischen Katoden. Impulsspannungsverlauf an den Hilfskatoden k_{hI} und k_{hII}. Unten: Zeitpunkte, zu denen die Entladung von den verschiedenen Katoden übernommen wird

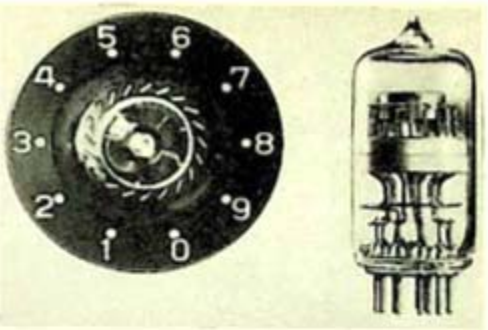
einen monostabilen Multivibrator als Impulsformer schickt, dem ausgangsseitig ein verzögerndes Integrationsglied angeschaltet ist. Bei Ansteuerung der Zählröhre mit Sinusschwingungen (für Frequenz- und Zeitmessungen) wird die Verzögerung des zweiten Impulses durch Phasenverschiebung (RC-Glied) erreicht.

Bei Zuführung des ersten Impulses an den Hilfskatodenring k_{hI} und des zweiten (verzögerten) Impulses an die Hilfskatodengruppe k_{hII} zählt die Röhre in Vorwärtsrichtung. Für eine Rückwärtszählung sind einfach die beiden Impulse nur zu vertauschen: k_{hII} erhält den ersten und k_{hI} den zweiten Impuls.

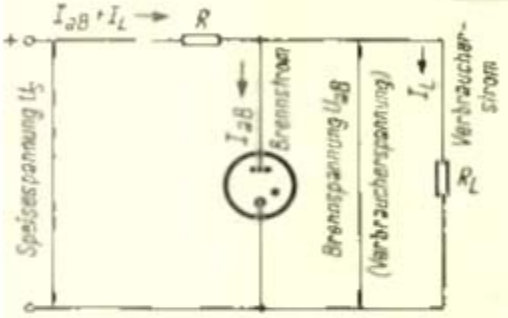
Zählröhren von diesem Typ haben die weiteste Verbreitung gefunden, vor allem wegen ihres einfachen und robusten Aufbaues und wegen der kaum noch zu übertreffenden Einfachheit der Zählschaltung. Dekadische Kaltkatoden-Zählröhren befinden sich in den Fertigungsprogrammen fast aller in- und ausländischen Röhrenfabriken. In erster Linie werden die Röhren für Zähl- und Schaltzwecke verwendet. Zu den Hauptcharakteristika einer Zählröhre gehören die *maximal erreichbare Zählfrequenz* und der *Steuerspannungsbedarf*, der möglichst niedrig sein sollte, um die Röhre auch aus transformatorlosen Transistorschaltungen ansteuern zu können. Für bestimmte Verwendungszwecke kann u. U. auch die *Ausgangsspannung* der Dekadenröhre Bedeutung haben. Die maximale Zählfrequenz liegt bei der Mehrzahl der Röhren zwischen 4 und 5 kHz, der derzeit erreichbare Grenzwert bei 1 MHz. Für einige viel benutzte Röhrentypen wird der Wert für f_{max} nachstehend angegeben:

ZM 1070 [Val], Z 572 S [WF], Z 573 C [WF]	5 kHz
Z 564 S [WF]	25 kHz
ZM 1060 [Val]	50 kHz
EZ 10 B [Ele]	1000 kHz

Rechts: *Bild 2-40 Zifferring ZB 37 mit zirkular polarisiertem Filter zur reflexfreien Ablesung der Zählröhre EZ 10 B (Ele). In der Röhre sind die schräg gestellten Katoden deutlich zu erkennen*



Unten: *Bild 2-41 Grundschaltung einer Spannungsstabilisierungs-Diode*



Zur direkten Ablesung des Zählresultates an der Röhre werden Blechscheiben mit eingestanzten Löchern oder Ziffern eingebaut, die aufleuchten, sobald die dahinter befindliche Katode mit Glimmlicht bedeckt ist. Teilweise gibt es auch zusätzliche, dem Röhrenkolben angepaßte *Zifferringe* (**Bild 2-40**). Zweckmäßiger für die Anzeige des Zählerstandes sind jedoch *Ziffernanzeigeröhren*, die den Vorteil erheblich größerer und deutlicher ablesbarer Ziffern bieten, die allerdings wegen ihres höheren Steuerspannungsaufwandes die Einfügung von Transistoren zwischen Zähl- und Anzeigeröhre verlangen.

2.5 Spannungsstabilisierungsröhren

In einer Spannungsstabilisierungsröhre befinden sich eine aus reinem *Molybdän* bestehende Katode (beschichtete Katoden finden heute kaum noch Verwendung) und eine Anode; das unter geringem Druck stehende Füllgas ist ein Edelgas oder ein Edelgasgemisch. Zur Stabilisierung (Konstanthaltung) einer Gleichspannung legt man diese – folgend Speisespannung U_s genannt – nach **Bild 2-41** an die Katode und über einen Vorwiderstand (Strombegrenzungswiderstand) R an die Anode der Glimmröhre und schaltet dieser den Verbraucher (Belastung) R_L parallel. Erreicht die Speisespannung die Zündspannung, fließt

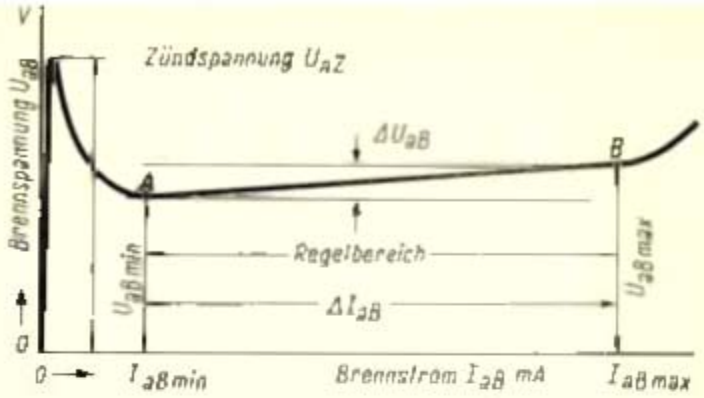


Bild 2–42 Kennlinie $U_{aB} = f(I_{aB})$ einer Einstreckenröhre

durch die Röhre ein durch R begrenzter Strom (Brennstrom) I_{aB}, während gleichzeitig die Spannung an der Röhre auf die Brennspannung U_{aB} abfällt (**Bild 2–42**). Im Bereich des normalen Katodenfalles bis zur fast völligen Bedeckung der Katode mit Glimmlicht ist die Brennspannung nur sehr wenig vom Strom abhängig (Strecke A–B). Ein Schwanken der Speisespannung U_s oder des Verbraucherstromes I_L verändert hauptsächlich den Röhrenstrom I_{aB}, wobei aber die stabilisierte Spannung am Verbraucher – die Brennspannung U_{aB} – sich nur ganz wenig ändert.

Das gerade verlaufende Kennlinienstück zwischen den Punkten A und B wird für die Spannungsstabilisierung ausgenutzt und bildet den *Regelbereich*. Dieser findet seine Abgrenzung auf der einen Seite durch den *minimalen* und auf der anderen durch den *maximalen* Brennstrom, der bei Spannungsstabilisierungsröhren manchmal auch Querstrom genannt wird. Beide für den Brennstrom in den Daten angegebenen Grenzwerte dürfen weder unter- noch überschritten werden.

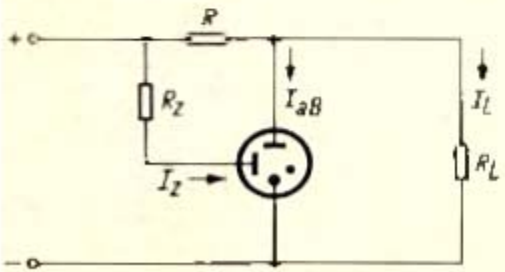


Bild 2–43 *Grundschaltung einer Stabilisierungsröhre mit Hilfsentladungsstrecke*

Eine Reihe von Stabilisierungsröhren besitzt *zwei gleichwertige Anoden* (**Bild 2–43**), von denen die zweite über einen Zündwiderstand R_z am Pluspol der Speisespannung angeschlossen ist und einen geringen Vorstrom (Hilfsstrom) I_z erzeugt, der die Gasfüllung *vorionisiert*. Dadurch wird das Verhältnis Zündspannung zu Brennspannung praktisch gleich eins, d. h. die Röhre zündet jetzt bereits annähernd bei der Brennspannung, und die Kennlinie $U_{aB} = f\,[I_{aB}]$ erhält den in **Bild 2–44** gezeichneten Verlauf. Es fehlt hier die Zündspannungsspitze, die am Anfang der Kennlinie in Bild 2–42 deutlich zu sehen ist, sonst bleiben die Entladungseigenschaften der Hauptstrecke unbeeinflußt.

Bei Betrieb von Stabilisatorröhren mit Hilfsstrom ergibt sich neben der Vermeidung von Zündverzügen – auch bei völliger Dunkelheit – und von Zündspannungsspitzen an der Hauptstrecke eine Erweiterung des Regelbereiches und als wichtigster Vorteil für Elektronik-Schaltungen: die Möglichkeit der Parallelschaltung *beliebig großer Kapazitäten*, ohne dabei das Entstehen von Kippschwingungen befürchten zu müssen. Bei Glimmlichtstabilisatoren ohne Hilfsentladung sind die Parallelkapazitäten auf Maximalwerte beschränkt, die jeweils den Datenblättern zu entnehmen und unbedingt einzuhalten sind.

Der *Stabilisierungsgrad* hängt an erster Stelle vom differentiellen Wechselstromwiderstand $R_{i\sim}$ der Röhre ab, der wieder von der Röhrenkonstruktion, Gasart und Gasdruck bestimmt wird und in den Röhrendaten niedergelegt ist. Er gibt das Ver-

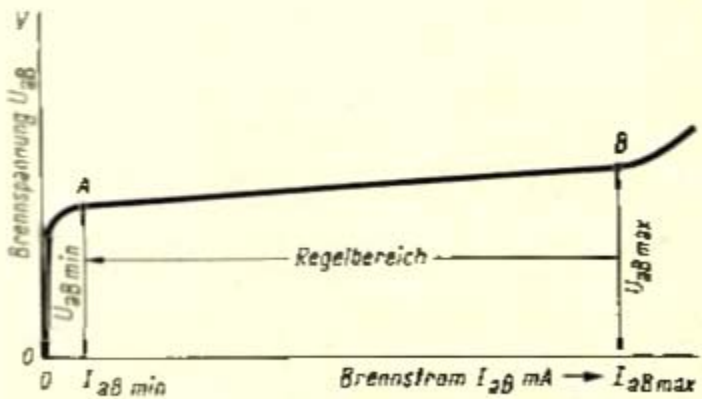


Bild 2–44 Kennlinie $U_{aB} = f\,(I_{aB})$ einer mit Hilfsstrom betriebenen Stabilisierungsröhre

hältnis zwischen der Spannungszunahme ΔU_{aB} an der Röhre und der entsprechenden Stromänderung ΔI_{aB} an (vgl. Bild 2–42):

$$R_{i\sim} = \frac{\Delta U_{aB}}{\Delta I_{aB}} \; [\Omega]$$

Die *Spannungsänderung am Verbraucher* (= Brennspannungsschwankungen an der Glimmröhre) ΔU_{aB} in Abhängigkeit von der Änderung der Speisespannung ΔU_s ergibt sich angenähert mit

$$\Delta U_{aB} \approx \Delta U_s \frac{R_{i\sim}}{R + R_L} \; [V]$$

R = Vorwiderstand,
R_L = Verbraucherwiderstand (Lastwiderstand)

Das *Verhältnis* der Schwankungen der stabilisierten Spannung U_{aB} zur Speisespannung U_s, also die Güte der Stabilisierung, läßt sich nach der folgenden Gleichung bestimmen:

$$\frac{\Delta U_{aB}}{\Delta U_s} = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_{i\sim}} + \frac{R}{R_L}}$$

Wenn der errechnete Wert mit 100 multipliziert wird, ergeben sich die Schwankungen der stabilisierten Spannung in Prozenten der Schwankungen der Speisespannung.

Die Abhängigkeit der stabilisierten Spannung (Spannungsänderung ΔU_{aB} von der Belastungsänderung ΔI_L verläuft in Annäherung nach der Gleichung

$$\Delta U_{aB} = \Delta I_L \cdot R_{i\sim} \; [V].$$

Die Güte der Stabilisierung läßt sich auch durch den *Stabilisierungsfaktor* ausdrücken, der das Verhältnis der prozentualen Änderung der Speisespannung U_s und der prozentualen Änderung der stabilisierten Spannung U_{aB} angibt. Je größer der Stabilisierungsfaktor S, desto besser die Stabilisierung. Formelmäßig beträgt angenähert

$$S = S_{max} - \frac{\frac{S_{max} - 1}{U_s}}{U_{aB}}$$

und

$$S_{max} = \frac{U_B}{R_i} \cdot \frac{1}{I_{aB} + I_L}$$

U_s = Speisespannung [V],
U_{aB} = stabilisierte Spannung [V],
U_B = Brennspannung [V] der einzelnen Röhre beim Strom I_{aB},
I_{aB} = Anodenstrom (Brennstrom) [A],
I_L = Verbraucherstrom [A],
R_i = Innenwiderstand der einzelnen Röhre beim Strom I_{aB} [Ω]

Der maximal erreichbare Wert für S wird von den Röhrendaten und dem Gesamtstrom $I = I_{aB} + I_L$ festgelegt. Gute Stabilisierung verlangt also eine möglichst hohe Speisespannung und einen kleinen Gesamtstrom I. Diese Abhängigkeit ist aus **Bild 2–45** zu erkennen, das den Kurvenverlauf $S = f\left(\frac{U_s}{U_{aB}}\right)$ mit I als Parameter bei der Stabilisierungsröhre SR 2 [Cer] wiedergibt.

Durch die Glimmröhre fließt stets der Strom, den der Verbraucher *nicht* aufnimmt, die Höchstbelastung der Röhre tritt demnach bei Leerlauf auf, d. h. wenn die Belastung nicht angeschlossen ist. Für jeden Röhrentyp ist zur Aufrechterhaltung der Entladung ein in den Daten angegebener Mindeststrom (Quer- oder Ruhestrom) einzuhalten, andernfalls könnte bei zu hoher Belastung die Entladung verlöschen. Auf der anderen Seite wiederum darf der durch die Röhre fließende Strom den maximal zulässigen Wert nicht überschreiten.

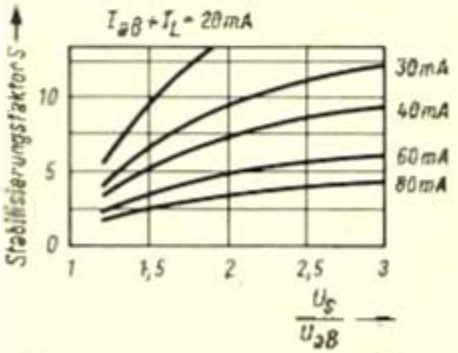


Bild 2–45
Stabilisierungsfaktor $S = f\left(\frac{U_s}{U_{aB}}\right)$

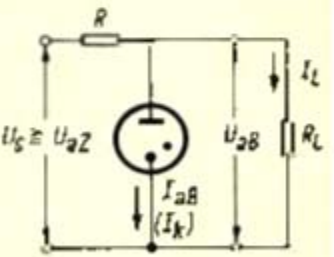


Bild 2–46 *Größen für die Widerstandsberechnung*

Die Speisespannung soll mindestens gleich oder besser: größer als das 1- bis 5fache der Brennspannung sein. Der Unterschied beider Spannungen geht als Spannungsabfall am strombegrenzenden Widerstand R verloren. Für die Berechnung der Höchst- und Mindestwerte für den Widerstand R gelten die nachstehenden Bedingungen (hierzu **Bild 2–46**):

$$R_{max} < \frac{U_{s\,min} - U_{aB\,max}}{I_{aB\,min} + I_{L\,max}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{p}{100}}$$

$$\text{oder } R_{max} < R_L \left(\frac{U_{s\,min}}{U_{aZ}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{p}{100}};$$

$$R_{min} > \frac{U_{s\,max} - U_{aB\,min}}{I_{aB\,max} + I_{L\,min}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{p}{100}}$$

Das letzte Glied der Gleichungen betrifft die Toleranz p des Widerstandes R in Prozenten. Es kann bei weniger genauen Widerstandsberechnungen fortfallen.

Übersteigt die zu stabilisierende Spannung die Brennspannung der vorgesehenen Röhre, werden zwei oder mehr Stabilisatoren in Serie geschaltet (**Bild 2–47**). Die für die Hintereinanderschaltung ausgesuchten Röhren können gleiche, aber auch verschiedene Brennspannungen aufweisen, im letzten Fall vorausgesetzt, daß die Röhren gleiche Belastbarkeit besitzen. Die stabilisierte Spannung ist dabei gleich der Summe der Brennspannungen aller Serienröhren. Der Zündsicherheit wegen sind die Anoden sämtlicher Röhren, ausgenommen die an der höchsten Plusspannung liegende Röhre, über je einen Widerstand R_z von 0,1...1 MΩ (meistens 0,5 MΩ) mit der gemeinsamen Minusleistung zu verbinden. Die Zündspannung für eine solche Serienschaltung liegt unterhalb der Summe aller Einzelzündspannungen der Röhren und beträgt nur

$$(n-1) \cdot U_{aB} + U_{aZ}$$

n = Röhrenzahl

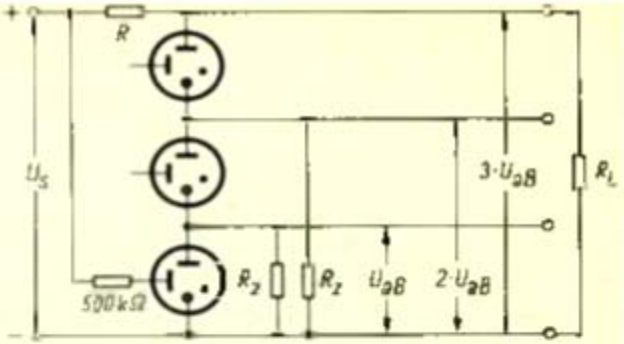


Bild 2–47 Serienschaltung von Stabilisierungsröhren

Sicherheitshalber ist ein geringer Spannungsbetrag dazu zu rechnen. Wie das Schaltbild 2–47 zeigt, lassen sich zwischen den einzelnen Anoden und der gemeinsamen Minusleitung auch stabilisierte Zwischenspannungen entnehmen.

An Stelle mehrerer in Serie liegenden Einzelröhren kann man auch mehrere hintereinandergeschaltete Glimmstrecken in einem Glaskolben unterbringen und spricht dann von *Mehrstrecken-Stabilisatorröhren*. Solche Mehrstrecken-Stabis werden heute hauptsächlich für die Versorgung von Fotovervielfachern und Geiger-Müller-Zählrohren mit hochkonstanten Hochspannungen benutzt. Sie stehen unter der Bezeichnung *Stabilisierungskas-*

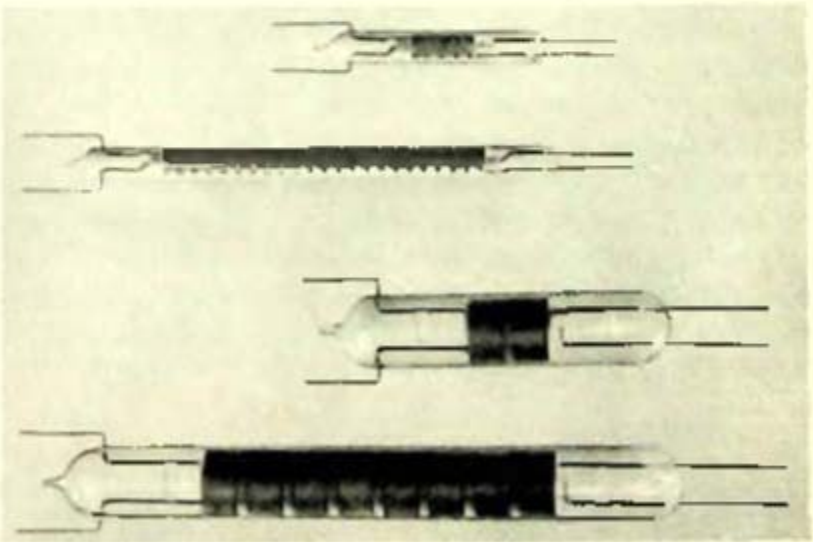


Bild 2–48 *Stabilisierungskaskaden [Mau] der Reihen SK 9 (unten) und SK 10 (oben). Außendurchmesser der Röhren 29 mm bzw. 13 mm*

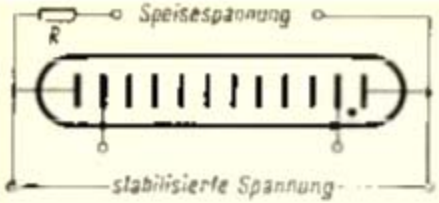


Bild 2–49 Grundschaltung der Stabilisierungskaskaden. Im Interesse einer sicheren Zündung und guten Stabilisierung soll die Speisespannung (Brennspannung + Spannungsabfall an R) mindestens 50 % höher liegen als die Brennspannung

kaden mit verschiedenen Stufenzahlen für Spannungen bis über 6000 V zur Verfügung [**Bild 2–48**]. Durch nochmalige Serienschaltung von ein oder zwei oder mehr Stabilisierungskaskaden lassen sich beliebig hohe Gleichspannungen konstant halten. Die Typenreihe SK 10 [Mau] umfaßt zwölf Kaskadenröhren mit 3 bis 45 Stufen (Brennspannung 440...6100 V) und die Reihe SK 9 [Mau] sieben Typen mit 3 bis 15 Stufen (410...2000 V), die Querströme beider Reihen betragen 0,5 bis 1,8 mA bzw. 1 bis 12 mA, die Wechselstromwiderstände je Stufe 2 kΩ bzw. 800 Ω. Die Röhren sind so gebaut, daß die erste und letzte Stufe abgegriffen oder abgeschaltet werden können (**Bild 2–49**). Bei der normalen und zweckmäßigsten Polung liegt der Pluspol auf der Seite der Röhren-Abziehspitze und der negative Pol am Röhrenboden. Eine Umpolung der Stabilisierungskaskaden ist möglich, ebenso eine Umpolung nur der ersten oder der letzten Stufe.

Der Typ ZZ 1030 (STV 500/01) [Tel] gehört ebenfalls zu den Mehrstrecken-Stabilisatoren, doch sind seine vier Glimmstrecken nicht durch die Entladung miteinander verbunden, sondern galvanisch getrennt, wobei jede Strecke zusätzlich von einem kleinen Glaskolben umschlossen ist [**Bild 2–50**]. Alle vier Strecken, die elektrisch gleichwertig sind, können entweder in Hintereinanderschaltung oder jede Strecke für sich als Einzelstabilisator arbeiten. Darüber hinaus sind aber auch noch weitere Schaltungsvarianten der Glimmstrecken gegeben. Der Aufbau dieser Röhre ist aus **Bild 2–51** ersichtlich. Jede Glimmstrecke besteht aus zwei Stiftelektroden, deren jede an einem Stift des

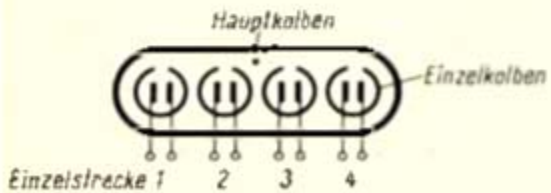


Bild 2–50 Innenschaltung der Vierstrecken-Stabilisatorröhre ZZ 1030 (Tel)

Novalsockels angeschlossen ist. Der über jedes Einzelsystem gesetzte kleine Glaskolben bleibt mit seinem Führungskonus am Boden unverschmolzen und läßt einen Spalt frei. Dadurch ist wohl ein Druckausgleich des Füllgases möglich, nicht aber der Stromfluß von einer Glimmstrecke zur anderen.

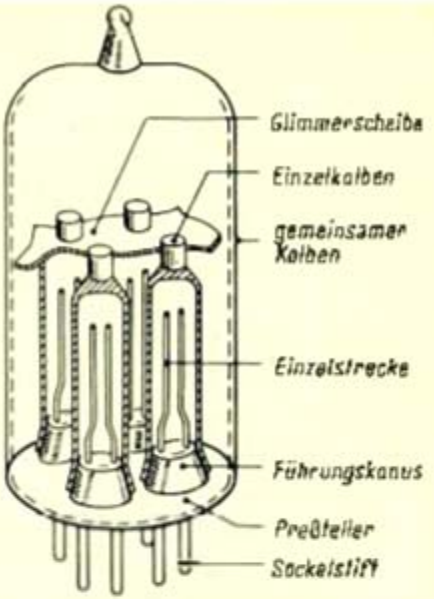


Bild 2–51 Systemaufbau der Röhre ZZ 1030 (Tal)

Reicht die mit einer Glimmstrecke erzielbare Spannungskonstanz nicht aus, erfolgt die Stabilisierung in zwei oder mehr Stufen, d. h. die von der ersten Stufe gelieferte vorstabilisierte Spannung wird in der folgenden Stufe nochmals stabilisiert (**Bild 2–52**). Bei solchen „Kaskadenschaltungen" ist darauf zu achten, daß die in der vorangehenden Stufe vorstabilisierte Brennspannung stets höher liegen muß als die Zündspannung der Röhre in der Folgestufe. Es gilt also

$$U_s \geq U_{aZ\ R\ddot{o}1} \text{ und } U_{aB\ R\ddot{o}1} \geq U_{aZ\ R\ddot{o}2}$$

Um der zweiten Stufe eine möglichst hohe vorstabilisierte Spannung bereit zu stellen, wird die erste Stufe in der Regel mit einer Glimmröhren-Serienschaltung nach **Bild 2–53** aufgebaut. Weiterhin ist es von Vorteil, in der zweiten Stufe eine Präzisions-Stabilisierungsröhre oder eine Spannungsreferenzröhre zu verwenden. Wenn diese dann noch mit einem kleinem und einzigen

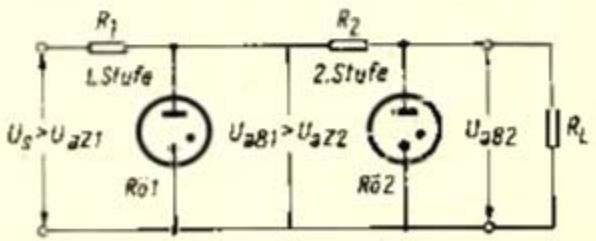


Bild 2–52 Doppelte Stabilisierung (Kaskaden-Stabilisierung)

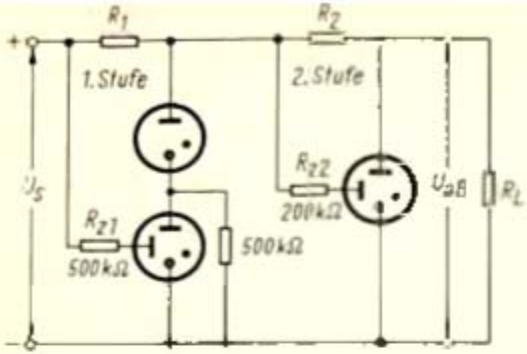


Bild 2–53 Kaskaden-Stabilisierung mit zwei Serienröhren in der ersten Stufe

Querstrom betrieben wird, ist die bestmögliche Stabilisierungsgüte zu erwarten.

Eine *Parallel*schaltung von zweipoligen Stabilisierungsröhren ist wegen der unvermeidlichen Kennlinienstreuungen und der unkontrollierbaren Querstromverteilung, die mit Bestimmtheit zur Überlastung einer der beiden Röhren führen wird, nicht zweckmäßig. Notfalls kommen für den Parallelbetrieb nur Röhren mit Hilfsentladung und einem verhältnismäßig großen $R_{i\sim}$-Wert in Frage, aber auch dann empfiehlt es sich, in die Anodenleitungen der Röhren nach **Bild 2–54** einen Schutzwiderstand R_{sch} von etwa 100 Ω einzufügen. Einfacher und vorteilhafter ist es jedoch in allen Fällen, statt der Parallelschaltung von zwei Stabis den in der Leistung nächstgrößeren Röhrentyp einzubauen.

Einige Stabilisierungsröhren – beispielsweise der Typ 108 C 1 [Phi, Val] – sind auch für die Stabilisierung von Wechselspannungen zugelassen, wobei zwei Röhren in Antiparallelschaltung betrieben werden müssen (**Bild 2–55**).

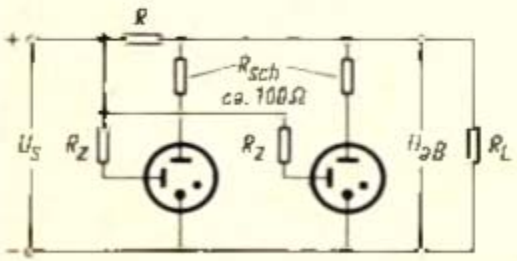


Bild 2–54 Parallelschaltung von Stabilisierungsröhren

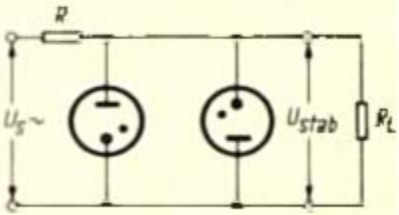


Bild 2–55 Wechselspannungs-Stabilisierung mit zwei Röhren in Antiparallelschaltung

Bild 2–56 Stabilisatorröhre StR 150/15 [WF]. $U_{aZ} \leq 180$ V, U_{aB} = min 146...max 154 V, I_{aB} = min 5 mA...max 15 mA

Bild 2–57 Sockellose Subminiatur-Stabilisatorröhre SR 44 [Cer]. U_{aZ} = 155 V, U_{aB} = min 82...max 87 V, I_{aB} = min 0,5...max 5 mA

Glimm-Stabilisatorröhren werden in gesockelter Ausführung, überwiegend mit Miniatur- und Novalsockel (**Bild 2–56**), und als sockellose Subminiaturröhren mit Drahtenden zum Einlöten in die Schaltung geliefert (**Bild 2–57**). Bei verschiedenen Stabilisatoren sind Katode und Anode mit *mehreren* Sockelstiften verbunden. Für solche Röhren ist die Schaltung dann so anzulegen, daß beim Herausziehen der Röhre aus der Fassung auch der Verbraucher von der Speisespannung abgetrennt wird. Beispiele für diese „Schutzschaltung" sind in **Bild 2–58** zu finden.

Präzisions-Stabilisierungsröhren und *Spannungsreferenz*röhren zeigen in ihrem grundsätzlichen Aufbau gegenüber den „normalen" Typen keinen Unterschied, jedoch zeichnen sich solche Röhren dank spezieller Fertigungstechnologien durch eine beachtlich bessere Brennspannungskonstanz aus. Außerdem haben die Röhren einen verhältnismäßig hohen Wechselstromwider-

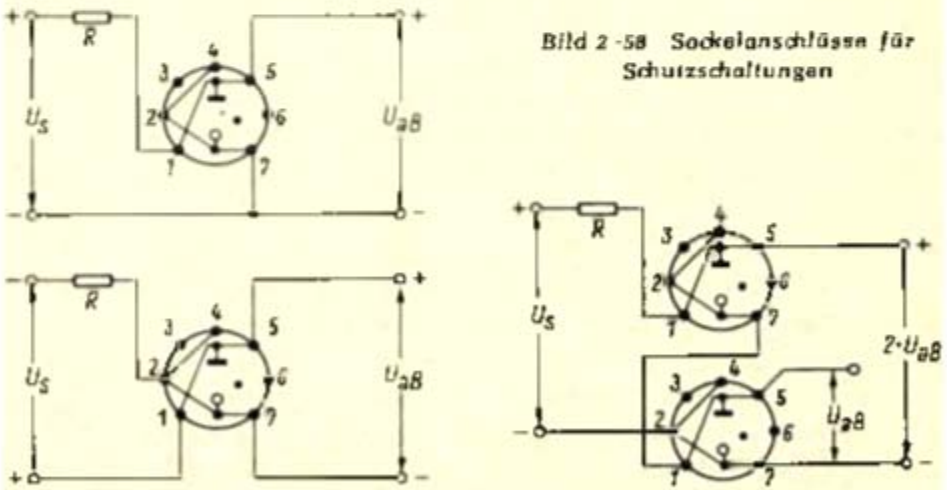


Bild 2–58 Sockelanschlüsse für Schutzschaltungen

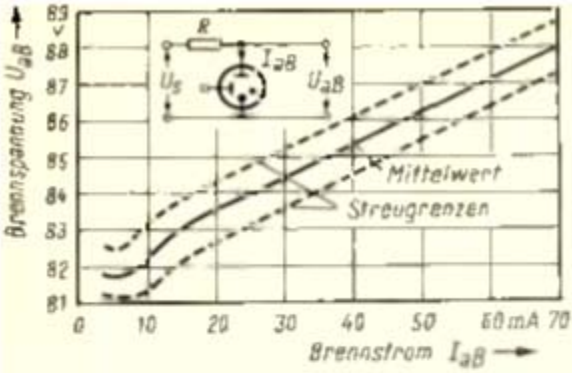


Bild 2–59 Kennlinie $U_{aB} = f(I_{aB})$ der Stabilisatorröhre ZZ 1010 [Tel]

stand und einen sehr niedrigen (negativen) Brennspannungs-Temperaturkoeffizienten. Die höchste Spannungskonstanz mit diesen Röhren wird erzielt, wenn sie mit einem sehr geringen und dazu konstanten Brennstrom (Querstrom) betrieben werden.

Zu den wesentlichen Kenndaten einer Glimm-Stabilisierungsröhre gehören die (mittlere) Brennspannung U_{aB} und der Regel- oder Stabilisierungsbereich, begrenzt vom minimalen und maximalen Brennstrom (Katodenstrom) I_{aB}. Für die Höhe der Speisespannung ist die Zündspannung der ausgewählten Röhre maßgebend: $U_s > U_{aZ}$. Bei einer Reihe von Röhren mit nur einer Entladungsstrecke ist die Zündspannung Schwankungen unterworfen und kann zwischen mittlerer Beleuchtung der Röhre und völliger Dunkelheit stark differieren. Diese möglichen Zündspannungsunterschiede sind bei der Dimensionierung der Schaltung zu berücksichtigen. Es gibt aber auch Einstreckenröhren, bei denen durch besondere technologische Maßnahmen zwischen Zündspannung und Beleuchtung praktisch keine Abhängigkeit besteht. Größere Zündspannungsunterschiede lassen sich bei Glimmdioden beispielsweise u. a. dadurch vermeiden, daß in die Kolben eine ganz geringe – strahlungsunschädliche – Menge eines radioaktiven Materials eingebracht wird.

Der in den Röhrendaten niedergelegte (differentielle) Wechselstromwiderstand $R_{i\sim}$ bezieht sich stets auf die Mitte des Regelbereiches. Für Stabilisierungsschaltungen, die in der Spannungskonstanz besonders hohe Anforderungen erfüllen müssen, können eventuell noch die folgenden Röhreneigenschaften von Bedeutung sein: die Anlaufzeit, die von der Zündung der Röhre bis

zum Erreichen konstanter Brennspannung vergeht (max. 3 min), die Brennspannungssprünge und schließlich noch der Temperaturkoeffizient der Brennspannung.

Bei den in den Datenblättern verzeichneten Werten sind die Exemplarstreuungen sowie die Datenänderungen während der Lebensdauer der Röhre meist bereits mit einbezogen. Auch die Kennlinien werden fast immer mit ihren Streugrenzen dargestellt (**Bild 2-59**). Die Lebensdauererwartung einer Glimm-Stabilisierungsröhre mit Reinmetallkatode liegt bei mehreren 10 000 Betriebsstunden, das Ende der Lebensdauer tritt nicht spontan ein, sondern allmählich und kündigt sich durch Unregelmäßigkeiten und stetiges Anwachsen der Zünd- und Brennspannungen an.

2.6 Glimmröhren für Bedeckungsmodulation

Unter *Bedeckungsmodulation* versteht man die durch Stromänderung hervorgerufene Längenänderung der Glimmbedeckung einer stabförmigen Katode im Bereich des *normalen* Katodenfalles, in dem zwischen Strom und Glimmbedeckung eine sehr gute Proportionalität besteht. Gleichzeitig tritt eine *optische Vervielfachung* der Spannungsschwankungen auf, so daß schon kleinste Spannungsunterschiede deutlich sichtbar werden. Diese Vervielfachung beträgt

$$V_{opt} = \frac{U_b}{U_b - U_{gl}}$$

U_b = Betriebsspannung,
U_{gl} = Spannung an der Glimmröhre (U_B)

Die bedeckungs-modulierbaren Glimmröhren – auch „Amplitudenröhren" genannt – stehen mit verschiedenen Elektrodenausführungen zur Verfügung. In der meist gebräuchlichen Form werden sie mit verschieden langen Stabelektroden gebaut, wobei die kurze Anode sehr oft von der Anschlußkappe verdeckt ist und unsichtbar bleibt (**Bild 2-60-A**). Die zweite Gruppe umfaßt Röhren mit gleichlangen Elektroden (Bild 2-60-B), die beide modulierbar sind und vorwiegend für oszillografische Zwecke Verwendung finden. In einigen Röhrentypen befindet sich eine zusätzliche Hilfsanode (**Bild 2-60-C**), die eine positive Spannung

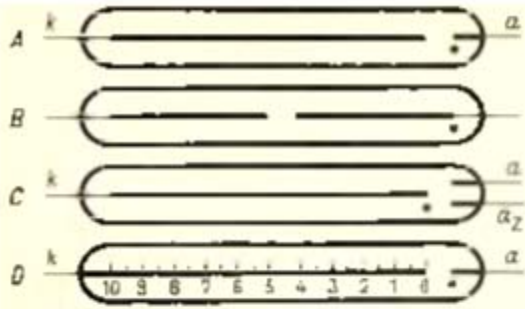


Bild 2–60 Amplitudenröhren mit Stabelektroden verschiedener (A) und gleicher Länge (B), mit zusätzlicher Hilfsanode (C) und im gradulerten Kolben (D). k = Katode, a = Anode, a_2 = Hilfsanode

erhält und die auch hier die Aufgabe hat, durch Vorionisierung des Gases für eine jederzeit sichere Zündung zu sorgen und Zündverzögerungen auszuschließen. Ist die Glimmröhre zur Spannungs-, Amplituden- oder Aussteuerungsanzeige vorgesehen, werden zweckmäßig *graduierte* Röhren nach Bild 2–60-D gewählt.

Alle modulierbaren Glimmröhren besitzen keinen eingebauten Widerstand, dieser ist also in die Schaltung einzufügen. Die mittlere Betriebsspannung für die Amplitudenröhren bewegt sich zwischen 180 und 220 V, die mittlere Stromaufnahme beträgt 10 bis 20 mA. Die maximal ausnutzbare Glimmfadenlänge reicht bei einigen Typen bis 10...12 cm. Bei Wechselstrombetrieb weist die Glimmbedeckung den 1,4fachen Betrag der Gleichstrombedeckung auf. Die Farbe des Glimmlichtes hängt von den Komponenten des Füllgases ab, für visuelle Beobachtung genügt in allen Fällen das rötlich-gelbe Neonlicht, während für fotografische Aufzeichnung Röhren mit violett oder blau leuchtender Gasfüllung vorteilhafter sind.

Um mit möglichst kleinen Modulationsamplituden auszukommen, sind die Röhren sehr oft mit einer Gleichspannung so weit vorgespannt, daß sie sich bereits im oder kurz vor dem Glimmeinsatz befinden. Die Längenänderung der Glimmbedeckung folgt den Stromänderungen bis zu Frequenzen von etwa 10^4...10^5 Hz praktisch trägheitslos, was die Verwendung der Amplitudenröhren u. a. in Glimmlicht-Polaroszillografen gestattet. Erhält eine Röhre mit langer Stabelektrode einen metallischen Außenbelag, so bildet dieser zusammen mit dem Glimmfaden eine Kapazität, deren Größe von der Länge der Glimmlichtbedeckung bestimmt wird (fernsteuerbare Kapazität).

2.7 Glimmröhren für Helligkeitsmodulation

Die *Helligkeits-* oder *Intensitätssteuerung* einer Glimmröhre findet im Bereich des *anomalen* Katodenfalles statt, in dem die Lichtstärke der Entladung dem Strom proportional verläuft. In diesem Glimmentladungsbereich beginnt sich auch das zinnoberrot leuchtende Katodenlicht zu entwickeln. Helligkeitsgesteuerte Glimmröhren, auch „Glimmlicht-Modulatoren" genannt, finden ihre Anwendung hauptsächlich in Lichtrekordern, für die fotografische Aufzeichnung von Schwingungskurven, in der Lichttelefonie, als Zeitmarkengeber sowie als stroboskopische Lichtquelle.

Zwecks Steigerung der Leuchtdichte wird in den Röhren die Entladung innerhalb einer Hohlkatode konzentriert, wobei die Ausnutzung des Glimmlichtes in Achsenrichtung des Katodenrohres erfolgt. Den grundsätzlichen Systemaufbau zeigt **Bild 2–61**. Im linken System bleibt der Querschnitt des Katodenzylinders auf der ganzen Länge gleich, die Anode hat die Form einer Scheibe und enthält im Zentrum eine punkt- oder schlitzförmige Lichtaustrittsöffnung. Danach unterscheidet man zwischen *Punkt-* und *Schlitzglimmröhren*. Bei dem rechten System ist der obere Teil des Katodenzylinders bis auf einen kleinen Lichtaustrittspunkt kegelförmig abgeschlossen, während die Anode Ringform aufweist. Die kleinsten Lichtaustrittsöffnungen der (meist verwendeten) Punktglimmröhren haben bei den deutschen Röhren (z. B. DGL) Durchmesser von 1 bis 1,2 mm und bei den amerikanischen Typen von rund 0,4 mm. Das Füllgas enthält neben Neon fotoaktive Gasgemische mit Zusätzen von Stickstoff, Xenon und Hg-Dampf, so daß die intensitätsgesteuerten Glimmröhren außer dem „normalen" Rot auch rot-blaue, blau-violette, blaue und weißliche Entladungsfarben zeigen.

Die Zündspannungen der Röhren, die vereinzelt mit Hilfsanoden ausgerüstet sind, betragen zwischen 180 und 240 V, die mittleren Belastungen liegen zwischen 5 und 90 mA. Im Impulsbetrieb läßt sich die Mehrzahl der Röhren mit dem drei- bis fünffachen Wert der normalen Dauerbelastung betreiben. Die Röhren erreichen Leuchtdichte-Spitzenwerte bis 130 cd/cm² und arbeiten normalerweise bis *mindestens* 100 kHz trägheitslos, eine Reihe von USA-Entwicklungen sind sogar bis 1 MHz modulationsfähig.

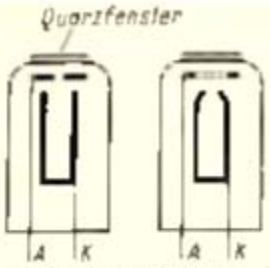


Bild 2–61 Systemaufbau der Punktglimmröhren für Helligkeitssteuerung. A = Anodenlochblende bzw. Anodenring, K = Katodenzylinder

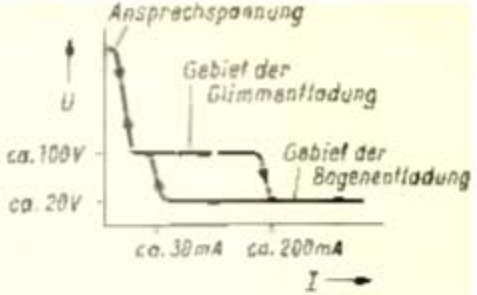


Bild 2–62 Typische Strom-Spannungs-Charakteristik eines Glimm-Überspannungsableiters

Die durchschnittliche Lebensdauer ist mit mehreren 100 Stunden anzusetzen, bei Hochleistungsröhren im Impulsbetrieb sinkt sie auf 75 bis 100 Stunden ab.

2.8 Glimm-Überspannungsableiter

Die Wirkung der Glimmröhre als Überspannungsableiter beruht darauf, daß diese unterhalb ihrer Zündspannung einen Isolator darstellt und die zu schützende Anlage oder Schaltung in keiner Weise belastet oder beeinträchtigt und erst nach Überschreiten der Zündspannung zu einem Leiter wird und die Überspannung gefahrlos ableitet. Bei geringen Ableitströmen entsteht zunächst eine Glimmentladung (**Bild 2–62**), die mit Stromerhöhung in eine Bogenentladung umschlägt. Sinkt dann der Strom wieder auf niedrige mA-Werte ab, geht auch die Bogenentladung wieder in eine Glimmentladung über, die mit dem Verschwinden der Überspannung löscht, womit der Ableiter für eine erneute Zündung (d. h. Überspannungsableitung) betriebsbereit ist.

Glimm-Überspannungsableiter dienen vor allem zum Schutz von Schwachstrom-, besonders von Fernmeldeanlagen sowie von Freileitungen und Kabeln gegen Überspannungen, wie sie beispielsweise durch atmosphärische Aufladungen, durch Blitzeinschläge oder durch Berühren mit Hochspannungsleitungen entstehen können. Glimmableiter lassen sich außerdem zum Schutz überspannungsempfindlicher Einzelgeräte einsetzen. Die Ableiter müssen trotz jahrelanger Betriebsbereitschaft innerhalb von Bruchteilen einer Mikrosekunde größte Ströme sicher ableiten und ohne Zwischenkontrollen eine mehrmalige Beanspruchung

aushalten, ohne daß dabei eine wesentliche Veränderung ihrer ursprünglichen Daten erfolgt.

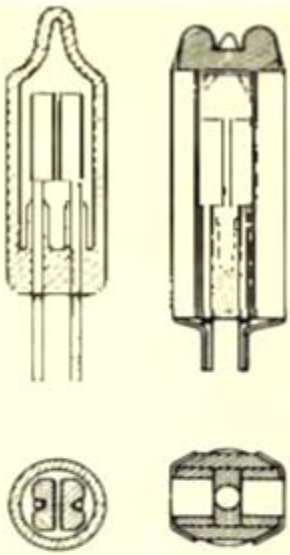


Bild 2–63 Schnitt durch einen Überspannungsableiter vom Typ UA 12 [Cer]. Links ungesockelt, rechts mit Sockel

Alle Glimm-Überspannungsableiter zeigen bei größtmöglicher Datenstabilität einen sehr robusten Aufbau, der in erster Linie die Elektrodendurchführungen und -zuleitungen betrifft, die bei starken Stromstößen besonders hohen Belastungen ausgesetzt sind. Als Beispiel für den Aufbau eines Ableitsystems sei hier auf das **Bild 2–63** verwiesen, das den Schnitt durch einen ungesockelten und einen gesockelten Ableiter vom Typ UA [Cer] wiedergibt. Die aktivierten rechteckigen Nickelelektroden sind mit dicken Wolfram-Durchführungsstiften hartverlötet, die durch ihre langen Verglasungen auffallen, die zur Erzielung einer hochwertigen Isolation zwischen den Elektroden erforderlich sind. Um Zündverzüge zu vermeiden, wird dem Füllglas ein Betastrahler (Tritium) beigegeben. Zu den charakteristischen Daten eines Glimm-Überspannungsableiters zählen die Ansprechspannung auf schnelle Stromstöße, die statische Ansprechspannung, die Strombelastbarkeit, die Glimm-Brennspannung und schließlich noch der Isolationswert zwischen den Elektroden.

Überspannungsableiter für niedrigere Ansprechspannungen, z. B. für Schwachstrom-Fernmelde- und Signalanlagen, werden mitunter auch *Edelgassicherungen* genannt und in Soffittenform oder mit Messerkontakten gebaut [**Bild 2–64**]. Die Einschaltung des Gasentladungsableiters in den Leitungszug kann – eventuell mit zusätzlicher Einfügung einer Grobfunkenstrecke – nach **Bild 2–65** vorgenommen werden. Die Grobsicherung ist vor allem dann notwendig, wenn die Löschspannung des Ableiters unterhalb der Netz[Betriebs]spannung liegt, so daß die Möglichkeit des Nachfließens von Netzenergie besteht. Diesen Energie-

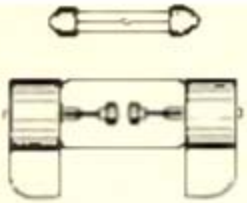


Bild 2–64 Edelgassicherungen in Soffittenform (oben) und mit Messerkontakten (unten)

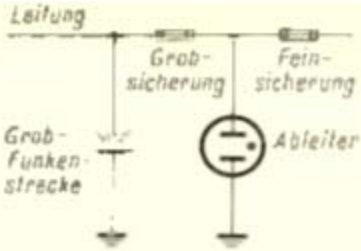


Bild 2–65 Anschaltung des Glimm-Überspannungsableiters

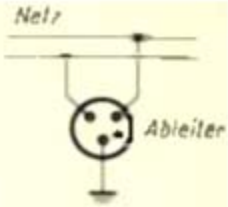


Bild 2–66 Dreielektroden-Ableiter

nachfluß soll die Grobsicherung nach einer bestimmten Zeit unterbrechen.

Der gleichzeitige Überspannungsschutz von zwei Leitungen ist statt mit zwei getrennten Ableitern auch mit nur einem einzigen *Dreielektroden*-Überspannungsableiter (**Bild 2–66**) durchzuführen. In einem solchen Glimmableiter sind drei um 120 Grad versetzte, kurze kräftige Stabelektroden für hohe Stoßströme untergebracht, von denen zwei mit den zu schützenden Leitungen und eine mit der Erdleitung verbunden werden. Neben Platzeinsparung bietet der Dreielektroden-Ableiter den Vorteil, daß beim Ansprechen einer Entladungsstrecke eine sehr starke Gasionisierung entsteht, die zu einer wesentlich erhöhten Ansprechempfindlichkeit der zweiten Strecke führt. Bei Anstehen einer Überspannung wird diese daher fast gleichzeitig mit der ersten Entladungsstrecke zünden.

Glimmröhren sind auch zur Ableitung von Induktionsspannungen geeignet, wie sie z. B. in Induktionsspulen als Öffnungs- und Schließungsspannungen auftreten, die bei zu großer Höhe die Spulenisolation gefährden können. Die Röhre wird so ausgewählt, daß ihre Zündspannung nur wenig größer ist als die an der Induktionsspule liegende normale Betriebsspannung.

Zum Schutz und zur Entstörung der Kontakte von Relais und Unterbrechern in induktiv belasteten Stromkreisen läßt sich die Glimmröhre gleichfalls mit Erfolg verwenden (**Bild 2–67**). Hier tritt die Röhre an die Stelle der sonst als Kontaktschutz gebräuchlichen Parallelschaltung von Kapazitäten und Widerständen. Die Glimmröhre hat dabei den Vorzug, daß die Kontakte

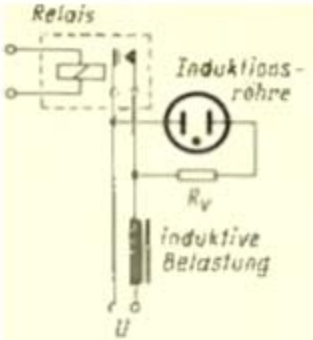


Bild 2–67 Glimmröhre als Schutz eines induktiv belasteten Relaiskontaktes

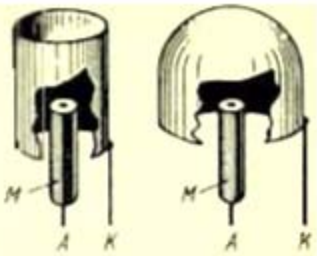


Bild 2–68 Elektrodenaufbau von Glimmlicht-Gleichrichtersystemen. A = Anode, K = Katode, M = Keramikmantel (im Innern der Anodendraht)

selbst bei schwachem Kontaktdruck geschützt sind. Zwecks sicheren Abreißens der Entladung ist es zweckmäßig und bei Betriebsgleichspannungen über 60 V unerläßlich, der Röhre einen Serienwiderstand von 500...1000 Ω beizugeben.

2.9 Glimmgleichrichterröhren

Die Tatsache, daß bei der normalen Entladung der hindurchgelassene Strom der Katodenoberfläche proportional ist, läßt die Verwendung der Glimmröhre als Gleichrichter zu. Deshalb führt man in den Glimmlichtgleichrichterröhren die Elektroden möglichst asymmetrisch aus. Die Elektrode, die in Gleichstromrichtung Anode sein soll, erhält die Form eines kurzen, dünnen Stäbchens (**Bild 2–68**), das zum größten Teil mit einem Keramikmantel umgeben ist. Die Gegenelektrode, die Katode, besteht dagegen aus einem großflächigen Zylinder oder einer Kugelschale und erhält zur Verminderung des Katodenfalles einen aktivierenden Überzug. Die Form der Hohlkatode wurde gewählt, um eine recht hohe Stromdichte zu erzielen.

Der Wirkungsgrad der Glimmgleichrichter, die nur als Einwegröhren gebaut werden, ist niedriger als der von Glühkatodenröhren. Zu ihrem Vorteil sprechen der – wegen Fehlens der Heizung – sehr einfache Schaltungsaufbau und die bei reinem Impulsbetrieb bis 1 A betragende Überlastungsfähigkeit. Da die Glimmgleichrichter unvermeidlich einen Rückstrom führen (ihre

Gleichrichterwirkung beruht ja auf den unterschiedlichen Stromdurchgang in beiden Richtungen], eignen sie sich weniger zum Aufladen von Kondensatoren. Ihr Anwendungsgebiet ist der Meßgleichrichter für Hochspannung. Im allgemeinen finden Glimmgleichrichterröhren heute jedoch kaum noch eine größere praktische Verwendung.

2.10 Leistungsschaltröhren

Während die Relaisröhren im Glimmentladungsgebiet mit einem verhältnismäßig hohen Spannungsabfall und mit Strömen im mA-Bereich arbeiten, werden die Leistungsschaltröhren im Gebiet der Bogenentladung betrieben. Diese Röhren sind mit Spezialkatoden ausgerüstet, die nicht allein eine sehr hohe Strombelastung zulassen, sondern die teilweise auch bereits bei Strömen um 20 mA eine Bogenentladung mit entsprechend niedrigem Spannungsabfall von etwa 15...25 V ermöglichen. An der niedrigen Bogenspannung sind die Leistungsschaltröhren von den Glimmentladungs-Schaltröhren zu unterscheiden. Die zulässigen Dauerströme erreichen bei den Leistungsschaltröhren Werte bis 10 A, die Spitzenströme gehen bis 100 A und noch darüber. Als Beispiele aus der europäischen Fertigung seien die Leistungs-Schaltdioden BD 22 [Cer] und Z 0,7/100 U [WF] genannt, die im Impulsbetrieb Spitzenströme bis max. 100 A schalten (Bogenspannung 15...20 V).

Im USA-Röhrenangebot sind spezielle *Hochstrom*-Schaltröhren für Betriebsspannungen zwischen einigen Hundert Volt und mehreren Kilovolt (z. Z. maximal 10 kV) zu finden, die Katodenspitzenströme bis 10 kA und eine Entladungsenergie bis zum 1000 Ws aushalten.

Leistungsschaltröhren werden als Zweielektrodenröhren (Glimm-Schaltdioden, Zünddioden) und als Mehrelektrodenröhren mit Starter und Hilfsanode für Gleich- oder Wechselspannungsbetrieb gebaut. Die Starterelektrode weist dabei oft die Form einer durchlöcherten Blechscheibe auf und wird dann als „Steuergitter" bezeichnet. Röhren mit Steuergitter und Hilfsentladung (über die Hilfsanode) besitzen eine thyratronähnliche Steuercharakteristik, wobei die brennende – Ladungsträger erzeugende – Hilfsent-

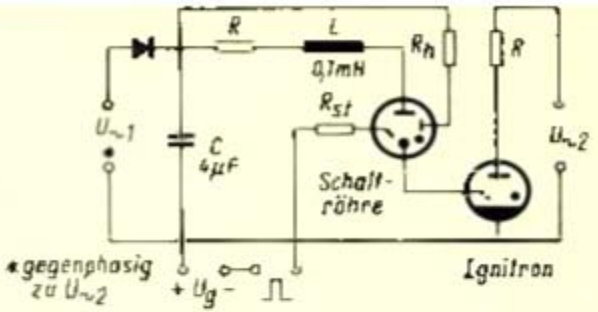


Bild 2–69 Prinzipschaltung für die Verwendung der Leistungsschaltröhre zur Ignitronzündung

ladungsstrecke mit der geheizten – Elektronen emittierenden – Glühkatode einer Thyratronröhre vergleichbar ist.

Die hohen Entladungsströme in den Leistungsschaltröhren lösen eine starke Ionisierung des Füllgases und damit längere Deionisierungszeiten aus, die wiederum zu *niedrigen Impulsfolgefrequenzen* (Entladungsfrequenzen) führen. Die Lebensdauer der Leistungsschaltröhren ist abhängig von der Impulsfolgefrequenz, der Belastungsenergie und der Belastungsimpedanz, sie reicht von einigen Millionen Impulsen bis zu mehreren tausend Entladungen bei den Hochstromtypen. Für den Betrieb ist jede Lage zulässig, die Umgebungstemperaturen sind bei den einzelnen Röhren unterschiedlich und liegen zwischen −55 °C und +80 °C.

Zu den Hauptanwendungen der für Impulsbetrieb bestimmten Leistungsschaltröhren gehören mit an erster Stelle die Fremd- und Anodenzündung von Ignitrons (**Bild 2–69**) und die Erzeugung von Zündimpulsen für Xenon-Blitzröhren, ferner das direkte Schalten von Schweißmaschinen kleinerer Leistung, etwa bis 5 kVA, das Schalten von Elektromagneten, Magnetkupplungen, Magnetventilen und von Steuerschützen sowie die Motorregelung u. a. m.

3 Die praktische Anwendung der Glimmröhren

Bei der praktischen Auswertung der Glimmentladung lassen sich grundsätzlich zwei Gruppen von Anwendungsgebieten unterscheiden. Die erste Gruppe umfaßt alle Anwendungsmöglichkeiten, die auf der Ausnutzung der *optischen* Eigenschaften der Glimmentladung basieren. Hierzu gehört beispielsweise die Verwendung der Glimmröhre als Signal-, Kontroll- und Meldelampe sowie das weite Gebiet der Ziffern- und Zeichenanzeigeschaltungen. Die zweite Gruppe nutzt die *elektrischen* Eigenschaften der Glimmentladung aus. An erster Stelle stehen hier die Kippschaltungen und die zahlreichen und vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Glimmröhre in ihrer Eigenschaft als Relaisröhre (Schaltröhre) und als Dekadenzählröhre.

Allerdings lassen sich die beiden Gruppen nicht immer sauber trennen. Es gibt zahlreiche Fälle, in denen die elektrischen und optischen Eigenschaften zusammen ausgewertet werden. Für die Kaltkatoden-Relaisröhre gilt es beispielsweise als großer Vorteil, daß ihr Entladungslicht zugleich den Schaltzustand der Röhre anzeigt, der bei Hochvakuumröhren oder Transistoren nicht ohne weiteres zu erkennen ist. Oftmals wird das Katodenlicht gezündeter Glimmröhren auch zur Ansteuerung von fotoelektrischen Bauelementen benutzt, z. B. dann, wenn die eigentliche Glimmröhrenschaltung keine Eingriffe und keine zusätzliche Belastung erlaubt, oder wenn zwischen Arbeitsschaltung und Anzeigeschaltung weder eine galvanische, noch kapazitive, noch induktive Kopplung bestehen darf.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Glimmröhre in der Elektrotechnik und in der Elektronik sind derart vielseitig, daß der nachfolgende praktische Teil bei manchen Anwendungsgebieten lediglich auf die Grundschaltungen eingehen kann, allein schon deshalb, weil sich für viele Aufgabenstellungen mehrere Lösungen anbieten. Neben den *Prinzip*schaltungen, die nur als Anregung für weitergehende Arbeiten dienen sollen, werden auch Schaltungs*beispiele* angeführt. Diese sind auf bestimmte Röhren-

typen abgestellt und z. T. mit den wichtigsten Wertangaben für die Bauelemente versehen. Diese Schaltungen gründen sich größtenteils auf Entwicklungsarbeiten der Röhrenhersteller und haben ihre Betriebssicherheit praktisch unter Beweis gestellt. Sofern die Schaltungsbeispiele elektromagnetische Relais enthalten, sind von diesen nur die Kontakte dargestellt, die unmittelbar zur Schaltung gehören und *innerhalb* der Schaltung eine Funktion ausüben; die Kontaktbestückung für die Steuerung der *äußeren* Stromkreise ist nicht eingezeichnet, da sich diese mit jeder Schaltungsaufgabe ändert.

Mit Rücksicht auf die stetige Weiterentwicklung der Glimmröhren und einer damit eventuell verbundenen Datenänderung sind jeder Schaltungsberechnung und jedem Schaltungsaufbau stets die neuesten Datenblätter zugrunde zu legen. Außerdem werden die Datenblätter, die von den Röhrenherstellern anzufordern sind, für die Sockelschaltungen der Röhren benötigt.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß bei einer vorgesehenen *gewerblichen* Ausnutzung der mitgeteilten Prinzipschaltungen oder Schaltungsbeispiele u. U. bestehende *Patent- oder Lizenzrechte* Dritter zu berücksichtigen sind.

3.1 Ausnutzung der optischen Eigenschaften der Glimmentladung

3.1.1 Glimmlampen für Beleuchtungszwecke

Für eine allgemeine Raumbeleuchtung sind die Glimmröhren ihres geringen Lichtstromes wegen nicht geeignet. Dank ihrer außerordentlich hohen Lebensdauer und ihrer sehr niedrigen Leistungsaufnahme benutzt man sie dagegen gern als Dauerlichtquelle für Nacht-, Not- und Richtungsbeleuchtung.

Der bekannteste Vertreter dieser Lampengruppe ist die *Bienenkorblampe* [ERG, Osr, Tun u. a.], die bei den üblichen Netzspannungen einschließlich Vorwiderstand nur zwischen etwa 1,5 und 3 W aufnimmt, die aber auch ohne eingebauten Widerstand geliefert wird. Signal-Glimmlampen mit erhöhter Leuchtdichte und großflächigen Katoden sind ebenfalls gut als Richtungs- und Notlampen brauchbar. Als „Nachtlicht" wird eine in ein flaches Kunststoffgehäuse eingebaute grüne Leuchtstoff-Glimmröhre [Phi] angeboten, die vorderseitig eine lichtstreuende Haube und rückseitig einen normalen Netzstecker besitzt. Die Stromkosten für

dieses Nachtlicht betragen bei Dauerbetrieb im Jahr nur rund 30 Pfennige.

3.1.2 *Signal- und Anzeigeschaltungen*

Signal- und Anzeigeröhren kommen in der Elektrotechnik und Elektronik hauptsächlich zur optischen Kennzeichnung des Betriebszustandes einer Anlage, eines Gerätes oder eines Bauteiles zur Anwendung. Die sehr breite Typenauswahl und die vielerlei Ausführungsarten der Signalglimmlampen (Abschnitt 2.1) bieten für jede erdenkliche Anwendung eine optimal geeignete Röhre. Die Anzeigeschaltungen weisen einen so einfachen Aufbau auf, daß hier einige wenige Beispiele genügen dürften. Die aus den Schaltungsvorschlägen ersichtlichen Röhren-Schutzwiderstände entfallen, wenn diese bereits in die Röhre eingebaut sind. Andernfalls errechnet sich der notwendige Vorschaltwiderstand aus der schon einmal erwähnten Gleichung

$$\text{Vorschaltwiderstand} = \frac{\text{Betriebs[Netz]spannung} - \text{Brennspannung}}{\text{Brenn[Röhren]strom}}$$

Die Betriebsspannung muß wegen der unvermeidlichen Zündspannungsunterschiede stets oberhalb der Zündspannung liegen. Die in den Daten angegebene maximal zulässige Stromaufnahme der Glimmröhre darf im Interesse einer möglichst langen Lebensdauer keinesfalls überschritten werden. Glimmröhren ohne eingebauten Widerstand haben den Vorzug, daß der Widerstandswert der *kleinsten* Stromaufnahme anzupassen ist, bei der die Glimmröhre bereits ein deutliches Leuchten zeigt. Soll das Glimmlicht dagegen möglichst hell sein, wird der Schutzwiderstand nach dem *maximal* zulässigen Strom berechnet.

Zur *Anzeige des Betriebszustandes* eines Gerätes wird die Signalglimmlampe nach **Bild 3–1** dem Netzeingang (hinter dem

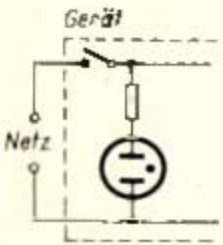


Bild 3–1 Betriebszustandsanzeige

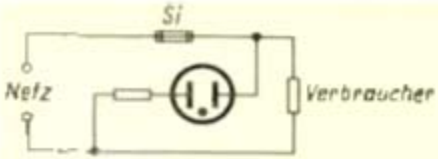


Bild 3–2 Anzeigelampe leuchtet bei intakter Sicherung

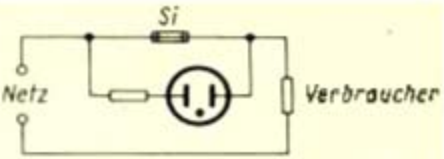


Bild 3–3 Anzeigelampe leuchtet bei defekter Sicherung

Schalter) parallel geschaltet, so daß diese so lange leuchtet, wie das Gerät unter Spannung steht. Ist auf der Frontseite des Gerätes kein Platz mehr für die Unterbringung eines Sichtfensters für die Anzeigeröhre vorhanden, verwendet man dünne Lichtleitkabel, die nach Durchbohrung der Frontplatte als „Lichtpunkt" neben dem Netzschalter enden. Die Glimmröhre selbst kann dann an irgendeiner geeigneten Stelle im Geräteinneren untergebracht werden.

Für die Überwachung von Sicherungen sind die Schaltungen nach **Bild 3–2** und **3–3** ausgelegt; in der ersten leuchtet die Signallampe bei intakter und in der zweiten bei defekter Sicherung. Bei doppelpoliger Absicherung sind zwei Glimmröhren erforderlich, die nach **Bild 3–4** zu schalten sind. Brennt eine der beiden Sicherungen durch, erlischt die zugehörige Anzeigelampe.

Eine sehr breite Verwendung findet die Zwergglimmröhre zur Markierung von Schaltern nach **Bild 3–5.** Der Handel bietet hier eine große Auswahl von Installationsschaltern für Unter- und Aufputzmontage sowie von Ein- und Aufbau-Geräteschaltern aller Ausführungen mit eingebauten Glimmlampen, so daß sich der Aufwand für einen nachträglichen Einbau einer Glimmlampenanzeige in einen Schalter kaum lohnt.

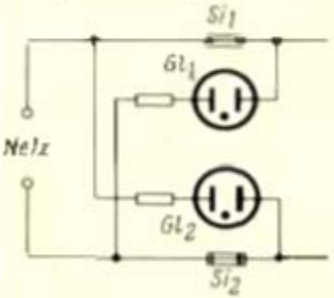


Bild 3–4 Kontrolle einer doppelpoligen Leitungsabsicherung

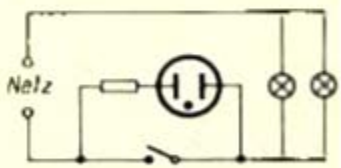


Bild 3–5 Schalter mit parallel geschalteter Glimmröhre

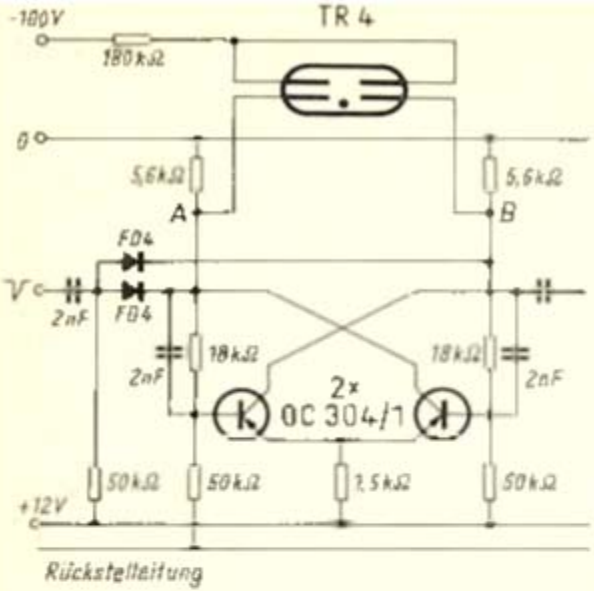


Bild 3–6 Binäre Untersetzerschaltung (nach Intermetall) mit Glimmlichtanzeige des Schaltzustandes. TR 4: U_Z etwa 75 V$_=$, U_B etwa 65 V$_=$, differentielle Steuerspannung min. 30 V, max. 40 V

In Wechselstromanlagen besteht die Möglichkeit, daß bei langen Leitungswegen abgeschaltete Glimmröhren schwach weiterleuchten. Abhilfe schafft die Parallelschaltung eines Widerstandes von 100 bis 200 kΩ zur Glimmröhre.

Eine interessante Anwendung der Glimmröhre ist die Anzeige des Schaltzustandes von Multivibratoren und anderen elektronischen Schaltern, soweit diese mit Hochvakuumröhren oder Transistoren arbeiten, die – im Gegensatz zur Glimmröhre – ihren jeweiligen Schaltzustand optisch nicht erkennen lassen. In Röhrenschaltungen ist eine Glimmlichtanzeige der stromführenden oder sperrenden Röhre leicht durchzuführen, weil hier die zur Zündung und Aufrechterhaltung der Glimmentladung notwendigen hohen Spannungen zur Verfügung stehen, was in transistorisierten Schaltungen nicht der Fall ist. Zur Anzeige kleiner Spannungsänderungen im Bereich der Transistor-Betriebsspannungen müssen Spezial-Glimmröhren herangezogen werden. Zu diesen gehört z. B. die sockellose Miniatur-Glimmröhre TR 4 [I.IR] mit zwei Systemen (vier Stiftelektroden) in einem gemeinsamen Kolben, deren Zündspannung nur etwa 10 V über der Brennspannung liegt (Strommittelwert 0,25 mA). Die Anwendung dieser Röhre als optischer Indikator für den jeweiligen Transistor-Schaltzustand in einer binären Untersetzerschaltung ist in **Bild 3–6**

gezeichnet. Das Glimmlicht erscheint hierbei auf der Seite des gesperrten Transistors; ist umgekehrte Anzeige erwünscht, sind die Anschlüsse an den Punkten A und B zu vertauschen.

Die Eigenschaft des Glimmlichtes, nur an der Katode aufzutreten, macht die Glimmröhre zu einem einfachen, leicht lesbaren *Indikator für Stromart und Polarität*. Dazu ist jede Glimmröhre mit einer gut übersehbaren Elektrodenanordnung zu verwenden. Besonders geeignet sind die Universalröhren in Soffittenform mit zwei gleich langen Stabelektroden (**Bild 3–7**). Bei Gleichstromanschluß leuchtet nur die mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbundene Elektrode (Katode), während bei Wechselstromspeisung sich beide Elektroden mit Glimmlicht überziehen. In den speziellen *Polsuchröhren* sind unterschiedlich geformte Elektroden vorgesehen, beispielsweise ein Ring und ein Pluszeichen (vgl. Bild 2–4), so daß sich auf einen Blick die Stromart (= oder ~) und bei Gleichspannung die Polarität feststellen läßt. Bei den *Spannungsprüfern* werden Glimmsoffitte und Widerstand sehr oft in den durchsichtigen Handgriff von Isolier-Schraubenziehern eingebaut und ergeben so ein recht praktisches Elektriker-Werkzeug.

Zur *Isolations- und Stromdurchgangsprüfung* von Anlagenteilen, Geräten und Bauelementen eignet sich die Glimmröhre ebenfalls sehr gut, zumal wegen des minimalen Brennstromes keine merkliche Belastung oder gar Beschädigung des Prüfobjektes zu erwarten ist. In der einfachsten Anordnung besteht eine solche Prüfeinrichtung aus einer Serienschaltung von Schutzwiderstand, Glimmröhre und Prüfling, die aus einer Gleich- oder Wechselspannungsquelle gespeist wird.

Im weiten Sinne gehören zu den Glimmlicht-Anzeigeschaltungen auch die *Zeitmarkengeber* für fotografische Registriergeräte und Kurzzeitmesser. Hierfür benutzt man überwiegend Röhren mit *positiver Säule*, deren Lichtimpulse in den meisten Fällen von der einfachen oder vervielfachten 50-Hz-Netzfrequenz gesteuert werden. Obwohl die Leuchtdichte der positiven Säule von Natur aus schon wesentlich höher ist als die des negativen Glimmlichtes, wird eine zusätzliche Leuchtdichte-Steigerung durch Verengung des Entladungsraumes zur Kapillare erreicht (**Bild 3–8**).

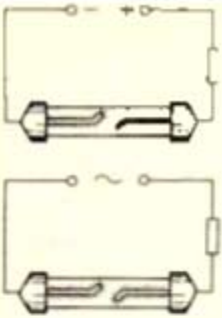


Bild 3-7 Spannungsart- und Polaritätsprüfung

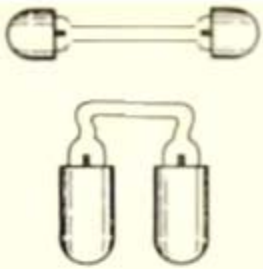


Bild 3-8 Zeitmarkengeber-Röhren mit Kapillar-Entladungsraum

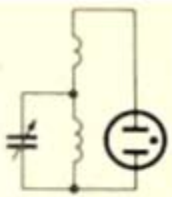


Bild 3-9 Glimmröhre als Resonanzanzeiger

Für die *Anzeige von Hochfrequenz und Hochspannung* kommen hauptsächlich ebenfalls Röhren mit positiver Säule zur Anwendung, die mit Innen- oder Außenelektroden (Kondensatorelektroden), teilweise auch mit Kapillarentladung, gebaut werden. Die Röhren mit Außenelektroden sind nur mit Nf- oder Hf-Wechselstrom zu betreiben, mit Innenelektroden ist Wechselspannungs- und Gleichspannungs-Impulsbetrieb möglich. Hf-Anzeigeröhren dienen u. a. für den Schwingungsnachweis in Röhrensendern. Ein Beispiel für die Verwendung der Glimmröhre als *Resonanzanzeiger* ist aus **Bild 3–9** ersichtlich. Die Kopplung mit dem Schwingungskreis soll dabei einer geringen Dämpfung wegen möglichst lose sein. Zwecks Steigerung der Ansprechempfindlichkeit kann die Glimmröhre mit einer Vorspannung arbeiten. Fast immer genügt für den Nachweis von Hf-Schwingungen der einpolige Anschluß und sehr oft schon die Annäherung der Röhre an die Hf-Leitung, um die Glimmröhre zum Leuchten zu bringen. Enthält das Gasgemisch der Röhre Wasserstoff, schlägt die orange-rote Farbe der Entladung bei sehr hohen Frequenzen in das Bläuliche um. Alle Hochfrequenzröhren lassen sich ohne Vorschaltwiderstand betreiben.

In den mit Außenelektroden ausgestatteten *Hochspannungs*anzeigeröhren, die für Betriebsspannungen bis 100 kV_{eff} (U_Z bis 6 kV) zur Verfügung stehen, wird ebenfalls das Licht der positiven Säule ausgenutzt und die Entladung durch eine gerade oder schleifenförmige Kapillare geführt. Röhren mit etwa 1 kV Zündspannung sind als Zündkerzenprüfer (**Bild 3–10**) bekannt. Bei

Bild 3–10 Zündkerzenprüfröhre

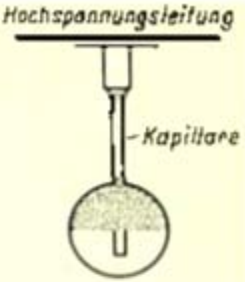


Bild 3–11 Hochspannungsanzeigeröhre für einpoligen Anschluß

richtigem Arbeiten der Kerze leuchtet die Entladung nur schwach auf, bei Unterbrechung brennt die Röhre hell und bleibt bei Kurzschluß dunkel. Eine gleich aufgebaute, aber wesentlich längere Röhre mit etwa 4 kV Zündspannung dient zur Anzeige von Spannungen zwischen 5 und 15 kV und findet in Hochspannungs-Verteiler- und Schaltanlagen Verwendung. Der Anschluß kann zwei- oder einpolig erfolgen, im letzten Fall erhält der frei hängende Pol zur Erhöhung der Kapazitäten gegen Erde zweckmäßig einen zusätzlichen Metallring oder eine Metallscheibe. Für Betriebsspannungen bis 100 kV_{eff} kommen Hochspannungsröhren nach **Bild 3–11** für einpoligen Sammelschienenanschluß zur Anwendung, bei denen das Leuchten in der Kapillare wiederum durch die Kapazität der Kugel gegen Erde bewirkt wird.

3.1.3 *Betriebsschaltungen und Ansteuerung von Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren*

Die Anwendungsmöglichkeiten für Glimmlicht-Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren sind außerordentlich vielseitig. Die Röhren kommen beispielsweise in digitalen Meßgeräten, in Zähleinrichtungen und Rechenanlagen, in Ruf- und Signaleinrichtungen, wie überhaupt in allen Anlagen und Geräten zur Anwendung, wo Zahlen, Buchstaben oder Zeichen zu übermitteln und zur Sichtanzeige zu bringen sind. Selbst bei niedrigen Zählgeschwindigkeiten wird immer mehr von den Ziffernanzeigeröhren Gebrauch gemacht, sie haben gegenüber den mechanischen Zählwerken den Vorteil, daß sie keine beweglichen Teile besitzen und mit minimalen Strömen praktisch trägheitslos anzusteuern sind. Im Gegensatz zu den mechanischen Zählern ist die Glimmlichtanzeige bis zu den höchsten Zählgeschwindigkeiten brauchbar. Zur An-

steuerung der Röhren lassen sich für niedrige Zählgeschwindigkeiten Schalter und Relais und bei schnellerem Ziffernwechsel Verstärkerröhren, Transistoren, Relaisröhren und fotoelektrische Bauelemente, wie z. B. Fotowiderstände, verwenden. Bei den Zeichen- und Buchstabenanzeigeröhren mit ihren langsameren Schaltgeschwindigkeiten kommen für die Ansteuerung in der Hauptsache mechanische Schalteinrichtungen, Relais oder Relaisröhren in Betracht.

Für die Auslegung einer Schaltung sind an erster Stelle die Kenndaten der Glimmentladung, wie Zünd-, Brenn- und Löschspannung, sowie der minimale und maximale Entladestrom (Katodenstrom) maßgebend. Entsprechend dem Verhalten einer Gasentladung dürfen Glimmlichtanzeigeröhren niemals ohne Schutzwiderstand betrieben werden; jeder Betrieb ohne Vorschaltwiderstand kann zur Zerstörung der Röhren führen. Der Widerstandswert ist abhängig von der Höhe der Betriebsspannung und des maximalen Entladestromes. Die Betriebsspannung muß mindestens die Höhe der Zündspannung aufweisen. Obwohl die Elektroden der Anzeigeröhren so bemessen sind, daß sämtliche Ziffern bei gleichen Elektrodenströmen gleiche Helligkeit zeigen, ist es trotzdem zu empfehlen, als Betriebsspannung die höchste im Gerät verfügbare Spannung zu wählen, weil der dazu gehörende, dann ebenfalls größere Anodenvorwiderstand etwaige Unterschiede der Katodenströme ausgleicht und bei allen Ziffern die gleiche Helligkeit gewährleistet. In manchen Schaltungen läßt sich die Zündspannung, die zur „Steuerung" (Einleitung) der Entladung, d. h. für das Aufleuchten eines Zeichens, notwendig ist, auf eine „Zündvorspannung" und eine sich dazu addierende „Steuerspannung" aufteilen.

In den Röhren leuchtet jeweils die Ziffer (oder das Zeichen) auf, die gegen die übrigen Ziffern eine genügend hohe negative Spannung aufweist. Zwischen der ein- und den ausgeschalteten Katoden liegt eine Spannung U_{kk}, manchmal auch als „Vorspannung" bezeichnet, die etwa zwischen 40 V und 120 V beträgt und deren optimaler Wert in den Röhrendaten angegeben ist. Bei einer Unterschreitung dieses Wertes erhöht sich der Strom zu den ausgeschalteten Katoden, und die Lesbarkeit der Ziffern bzw. Zeichen wird schlechter.

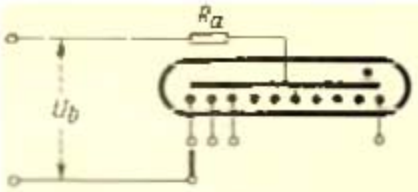


Bild 3–12 Prinzipschaltung für Gleichstrombetrieb. Daten für die Röhre ZM 1020:

U_b	= 170 ± 3 %	250	300	350	V
R_a	= 15	56	86	100	kΩ
U_{arc}	= 140	140	140	140	V

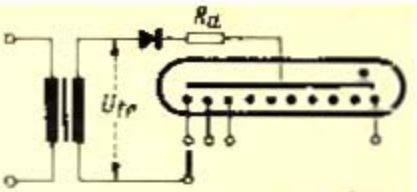


Bild 3–13 Prinzipschaltung für Halbwellenbetrieb. Daten für die Röhre ZM 1020:

U_{tr}	= 170	220	250	300	V
R_a	= 10	22	30	47	kΩ
I_a	= 1,5	1,5	1,5	1,5	mA
I_{as}	= 8	7	6,5	6	mA

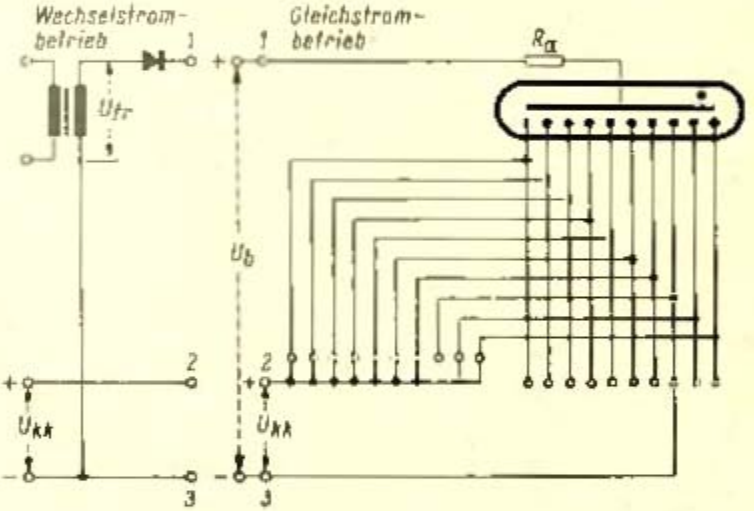
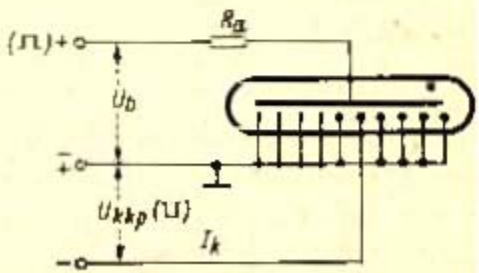


Bild 3–14 Prinzipschaltung für Gleichstrom- und Halbwellenbetrieb mit Vorspannung. Die „Vorspannung" ist die Spannung U_{kk} zwischen der ein- und den ausgeschalteten Ziffernkatoden. Bei Gleichstrombetrieb wird für die Röhre ZM 1020 ein U_{kk}-Wert von ≥ 60 V und bei Halbwellenbetrieb von ≥ 40 V empfohlen

Bild 3–15 Impulsbetrieb der ZM 1020: Betriebsdaten: U_b = 100 V, $|U_{kkp}|$ = 120 V, Impulsdauer = 100 µs, Tastverhältnis = 0,1, R_a = 5,6 kΩ, I_{kp} = 8 mA. Der Spannungsimpuls U_{kkp} kann aufgeteilt werden, z. B. + 60 V an der Anode und gleichzeitig −60 V an der Katode (Innenwiderstand der Spannungsquelle etwa 500 Ω)



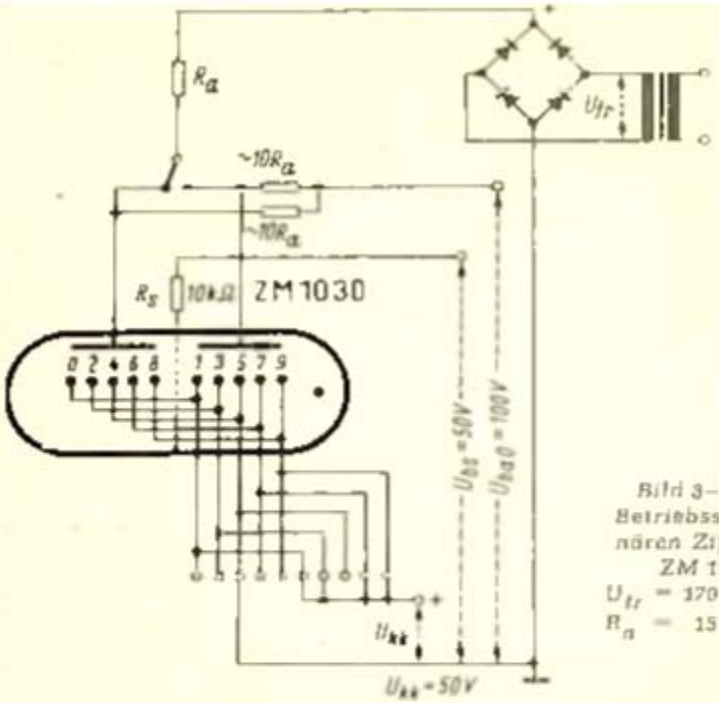


Bild 3–16 Vollwellen-Betriebsschaltung der quibinären Ziffernanzeigeröhre ZM 1030 (ZM 1032)

U_{tr} =	170	220	250	300 V
R_a =	15	27	33	47 kΩ

Grundsätzlich ergeben sich für die Schaltung der Ziffern- und Zeichenanzeigeröhren fünf Betriebsarten, die in ihrem Prinzip in den **Bildern 3–12** bis **3–15** gezeichnet sind. Das sind der Gleichstrom- und Halbwellenbetrieb, einmal ohne und das andere Mal mit Vorspannung, und der Impulsbetrieb. Ist Vollwellenbetrieb vorgesehen, wird der Einweggleichrichter durch eine Brückenschaltung ersetzt (**Bild 3–16**). Die in den Grundschaltungen angegebenen Werte beziehen sich auf die dekadische Ziffernanzeigeröhre ZM 1020 bzw. ZM 1030 (Quibinärtyp), die Schaltungen gelten grundsätzlich aber auch für Anzeigeröhren anderer Herkunft, dann selbstverständlich mit anderen Werten.

In den weitaus meisten Fällen werden die Ziffernanzeigeröhren in Verbindung mit Zählschaltungen zur optischen Anzeige des Resultats benutzt. Anzeigeröhren können selbst nicht zählen, sondern nur anzeigen; die Impulse (Steuerbefehle) für das, was jeweils zur Anzeige kommen soll, müssen einer zusätzlichen Schaltung entnommen werden, überwiegend einer Zählschaltung (Abschnitt 3.2.4).

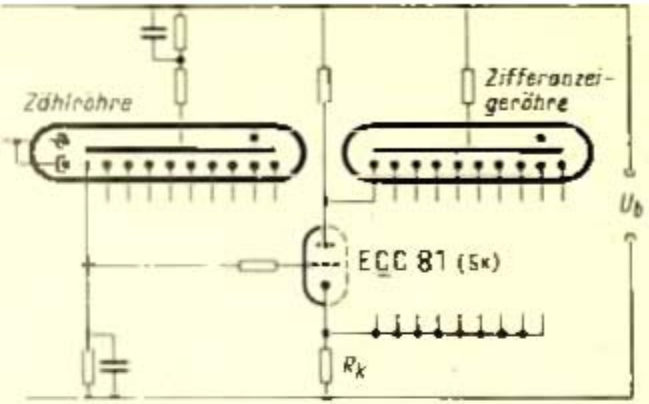


Bild 3–17 Ansteuerung einer dekadischen Ziffernanzeigeröhre durch eine Dekaden-Zählröhre mit Hilfe eines elektronischen Schalters

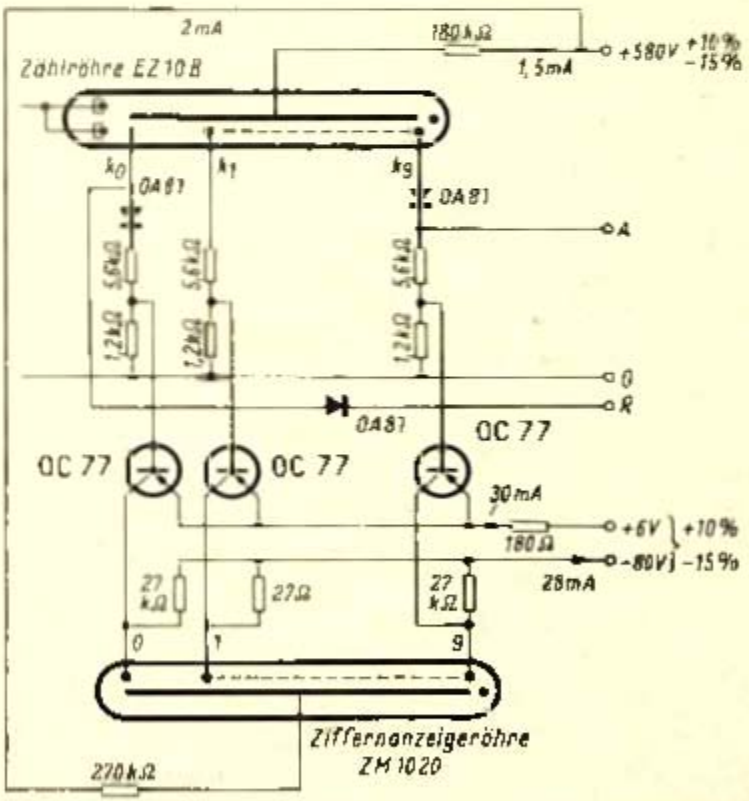


Bild 3–18 Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhre ZM 1020 durch die Zählröhre EZ 10 B mit Zwischenschaltung von pnp-Transistoren

Eine *Ansteuerungsmöglichkeit* mit Hilfe eines elektronischen Schalters ist in **Bild 3–17** skizziert. In dieser Schaltung wird der positive Ausgangsimpuls der Zählröhre durch eine Triode invertiert, dadurch sinkt das Potential der an die Triodenanode angeschlossenen Katode der Ziffernanzeigeröhre, und die betreffende Ziffer leuchtet auf. Der Strom sämtlicher Koppeltrioden fließt dabei über einen gemeinsamen Katodenwiderstand R_k. Der an ihm auftretende Spannungsabfall sperrt die nicht angesteuerten Trioden sowie die zugehörigen Katoden der Anzeigeröhre.

Anstelle mit Röhren steuert man heute die Ziffernanzeigeröhren durch Zählröhren fast immer mit Transistorschaltungen an. Die Transistoren liegen mit dem Ziffernkatoden in Reihe, fungieren als Schalter und schalten die Glimmstrecken ein bzw. aus. Ein Beispiel für die Ansteuerung der Anzeigeröhre ZM 1020 [Val] durch die dekadische Zählröhre EZ 10 B [Ele] mit Zwischenschaltung von pnp-Transistoren bringt **Bild 3–18**. Normalerweise befinden sich die Transistoren im leitenden Zustand, und die an die Kollektoren angeschlossenen Katoden der Ziffernanzeigeröhre führen annähernd Nullpotential. Gesperrt ist jeweils nur immer der mit der gezündeten Zählröhrenkatode verbundene Transistor. Die an den gesperrten Transistor angeschlossene Ziffernkatode der ZM 1020 liegt daher über den 27-kΩ-Widerstand an der 80-V-Spannung und zündet, d. h. die zugehörige Ziffer leuchtet auf.

Leider hat diese Schaltung eine verhältnismäßig hohe Stromaufnahme, die sich bei Verwendung von npn-Transistoren nach der Schaltung **Bild 3–19** herabsetzen läßt. Hier befinden sich die Transistoren normalerweise im Sperrzustand, sie werden durch die Katodenspannungen der Zählröhre geöffnet und schalten damit die angeschlossenen Ziffernkatoden ein.

Anstelle mit normalen Transistortypen lassen sich die Treiberstufen für die Anzeigeröhren vorteilhafter mit Spezialtransistoren bestücken. Dazu gehört z. B. der Si-npn-Typ Valvo BSX 21, ein Mesa-Transistor mit hoher Sperrspannung, der eigens für die Ansteuerung von Anzeigeröhren entwickelt wurde.

Die Kopplung zwischen Zählschaltung und Anzeigeröhre kann auch *fotoelektrisch* erfolgen, vorausgesetzt, daß die Zählschaltung mit einzelnen Glimmröhren und nicht mit einer Dekaden-

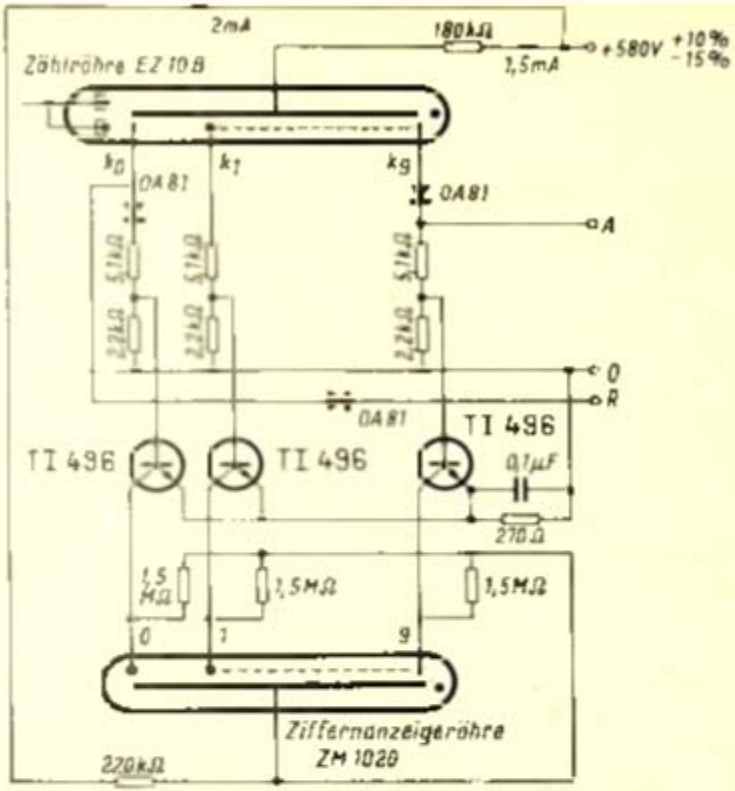


Bild 3–19 Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhre ZM 1020 durch die Zählröhre EZ 10 B mit Zwischenschaltung von npn-Transistoren

röhre bestückt ist. Hierbei wird das Katodenlicht der gezündeten Zählröhre zum Ansteuern von Fotowiderständen oder Fotodioden benutzt, die dann ihrerseits wieder die Ziffernkatoden der Anzeigeröhre steuern (vgl. Schaltung Bild 3–74). Bei der fotoelektronischen Kopplung besteht zwischen Zähl- und Anzeigeschaltung keine elektrische Verbindung.

Wer sich die Mühe des eigenen Aufbaues von Transistor-Treiberstufen ersparen will, kann auf industriell gefertigte, komplette *Treiber-Bausteine* zurückgreifen. Diese Treiberschaltungen enthalten in Subminiaturausführung die gesamte Transistorschaltung, sie haben Dezimaleingang und lassen sich somit in einfachster Weise mit der dekadischen Zählröhre verbinden. Teilweise werden die Treiber-Bausteine auch mit auswechsel-

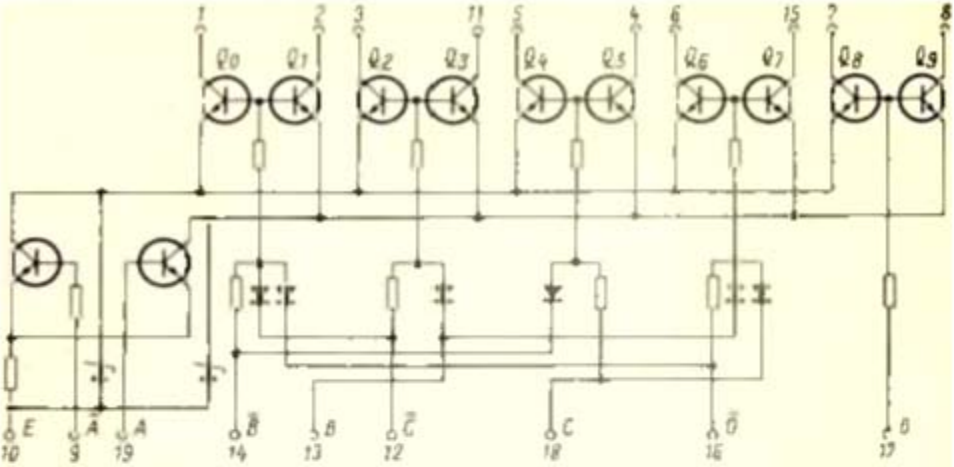


Bild 3–20 Prinzipschaltung des Decodier- und Treiber-Bausteins ID 10 für die Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhren ZM 1020 und ZM 1080. Der Baustein ist nur 54 mm × 27 mm × 14,5 mm groß [Val]

baren Anzeigeröhren geliefert (z. B. „Nixieröhren-Treiber" [Bur]).

Bei der Ansteuerung von Anzeigeröhren durch Zähler, die sich aus Digitalbausteinen zusammensetzen, werden sowohl für die Decodierung als auch für die Treiberschaltung zweckmäßig ebenfalls fertige, komplette Bausteine benutzt. Die Innenschaltung eines Bausteines, der eine vollständige Decodierschaltung (im 8–4–2–1- oder 2–4–2–1-Code) für digitale Transistor-Zähldekaden und außerdem zehn Treibertransistoren enthält, ist in **Bild 3–20** gezeigt. Für den Aufbau eines kompletten Zählers mit Ziffernanzeigeröhre werden dann nur noch zwei Bausteine benötigt, die nach **Bild 3–21** zusammenzuschalten sind. Die Anzeigeröhre gibt das Binärsignal O wieder, wenn die Eingänge A, B, C und D des Decodier- und Treiberbausteines mit den O-Signal führenden Flipflop-Ausgängen der Zähldekade verbunden sind, und L-Signal bei Anschluß der Eingänge $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{C}$ und $\overline{D}$ an die L-Ausgänge des Flipflops.

Kombinierte Decoder-Treiber-Bausteine sowie komplette Zähler für eine oder zwei Richtungen, kompakt zu einem einzigen Bauteil – einschließlich der Nixie-Ziffernanzeigeröhre – vereinigt, stehen in verschiedenen Ausführungen und mehreren Schaltungsvarianten als *„Bipco"-Module* [Bur] zur Verfügung.

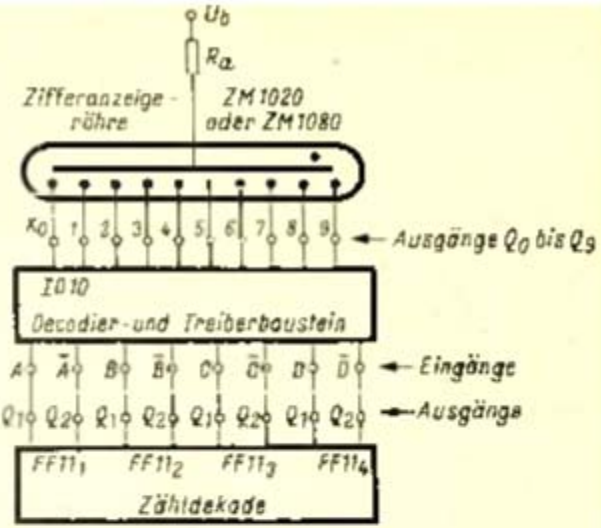
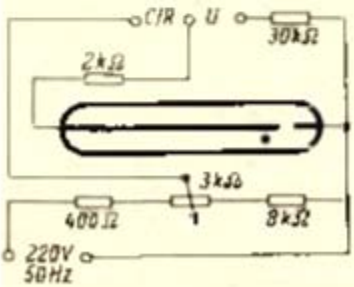


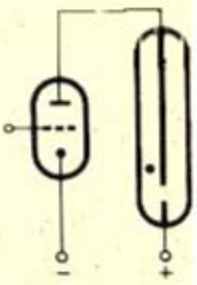
Bild 3–21 Aufbau eines Zählers mit Zifferanzeigeröhre mit Hilfe von Bausteinen (Val)

3.1.4 Schaltungen für Bedeckungsmodulation

Mit den in Abschnitt 2.6 beschriebenen Amplitudenröhren lassen sich wegen der guten Proportionalität zwischen Glimmstrom und Elektrodenbedeckung (Glimmfadenlänge) einfache Meßeinrichtungen für Spannung, Widerstand und Kapazität aufbauen, die allerdings die Meßgenauigkeit von Zeigerinstrumenten nicht erreichen. Ein Schaltungsvorschlag für ein U-R-C-Meßgerät mit einer für Überschlagsmessungen ausreichenden Genauigkeit, das mit einer graduierten Amplitudenröhre ARG 200/ARC 47–12 (DGL) arbeitet, ist in **Bild 3–22** angegeben. Bei der Spannungsmessung liegt die Meßspannung an den Klemmen U, wobei zu beachten ist, daß die Glimmröhre bei Wechselstrom die Scheitelspannung anzeigt. Zum Ablesen der Spannung (Glimmfadenlänge) dient eine mit Hilfe von Drehspulinstrumenten getrennt



Links: Bild 3–22, Schaltung eines Mehrfach-Meßgerätes mit der Amplitudenröhre ARC 200 (DGL)



Rechts: Bild 3–23 Galvanische Ankopplung

für Wechsel- und Gleichstrom geeichte Skala. Kondensatoren und Widerstände werden an den Klemmen C/R gemessen und zwar mit 220 V/50-Hz-Wechselspannung. Die Skaleneichung erfolgt bei konstanter Meßspannung mit Bauelementen möglichst kleiner Toleranzen. Da Netzspannungsschwankungen Meßfehler ergeben, ist vor jeder Messung die Meßspannung auf einen – auf der Skala markierten – Sollwert einzuregeln. Dazu schließt man die Klemmen C/R kurz und verändert das Potentiometer so weit, bis der Glimmfadenscheitel den Sollwertpunkt erreicht.

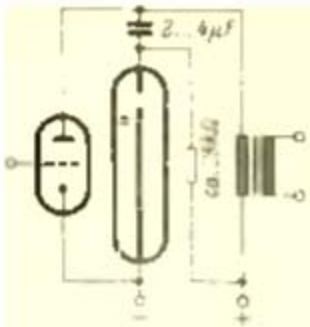
Bei Einhaltung der in die Schaltung eingezeichneten Werte sind die folgenden ungefähren Meßbereiche zu erfassen:

Gleichspannung	180	...500	V
Wechselspannung	125	...325	V_{eff}
Widerstände bei ~	25	...500	Ω
Kondensatoren	0,5	...150	nF

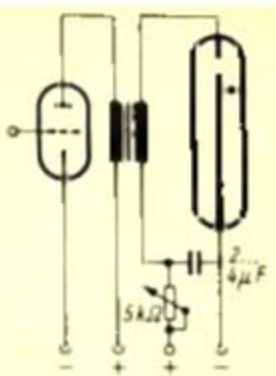
Für die Verwendung der bedeckungsgesteuerten Glimmröhre zur *Amplituden- und Aussteuerungskontrolle* von Empfängern und Verstärkern sind alle Röhren mit Stahkatode (mit oder ohne Hilfselektrode) brauchbar. Ihre Auswahl geschieht nach der verlangten Glimmfadenlänge, Zündspannung und Stromaufnahme. Bei der Aussteuerungsanzeige bieten graduierte Röhren Vorteile, da sich bei diesen der jeweils zulässige Aussteuerbereich zahlenmäßig festlegen läßt.

Sind die in der Aussteuerung zu überwachenden Verstärker transistorbestückt, setzt man der Glimmlicht-Amplitudenanzeige zweckmäßig eine Röhren-Verstärkerstufe vor, deren Steuerspannung von der Ausgangsspannung des Transistorverstärkers abgezweigt wird. Die Betriebsspannung für die Röhren-Verstärkerstufe und für die Glimmröhre sowie eine eventuell notwendige Gleichvorspannung für die Glimmröhre werden einem gemeinsamen – einfach aufgebauten – Netzgerät entnommen.

Die Ankopplung der Amplitudenröhre an die Verstärkerschaltung kann galvanisch, kapazitiv oder induktiv erfolgen. Bei der galvanischen Ankopplung (**Bild 3–23**) entfällt der Glimmröhren-Vorwiderstand, da die Verstärkerröhre bereits als Strombegrenzer wirkt. Die Betriebsspannung ergibt sich aus der Summe der Verstärkerröhren-Anodenspannung und der Glimmröhren-Brenn-



Links: *Bild 3–24*
Kapazitive Ankopplung



Rechts: *Bild 3–25*
Induktive Ankopplung

spannung. Wird die Ankopplung nach **Bild 3–24** kapazitiv vorgenommen, ist wieder ein Vorwiderstand einzubauen. Auch bei der induktiven Ankopplung (**Bild 3–25**) wird ein Schutzwiderstand verlangt, der hier aber kleinere Werte aufweist, da die Sekundärwicklung des Übertragers bereits einen Teil des Gesamtwiderstandes aufbringt.

Die den Stromschwankungen bis zu Frequenzen von etwa 10^4 bis 10^5 Hz praktisch trägheitslos folgende Glimmbedeckung erlaubt die Verwendung der bedeckungsgesteuerten Röhren auch zur *Schwingungsanalyse*. Dazu benutzt man Spezialröhren (Oszillografenröhren) mit einer langen und einer ganz kurzen oder mit zwei gleich langen Stabelektroden; die ersten sind einpolig, die letzten zweipolig modulierbar. Für Fotozwecke erhalten die Röhren eine besonders hell leuchtende, fotoaktive Gasmischung.

Leider sind diese Röhren auf dem deutschen Markt nicht mehr erhältlich, sie können nur als Sonderanfertigung hergestellt oder aus dem Ausland bezogen werden. Notfalls lassen sich aber auch die *längeren* Amplitudenröhren in der Glimmlicht-Oszillografie verwenden.

Die zu untersuchende Wechselspannung wird den Glimmröhren fast ausnahmslos induktiv zugeführt. Dabei arbeitet man meist mit einer so hohen Gleich-Vorspannung, daß etwa die halbe Katode mit Glimmlicht bedeckt ist. Die Beobachtung des Glimmfadens geschieht im Drehspiegel (horizontale Zeitachse) oder direkt in der rotierenden Röhre, die dann auf einer motorisch angetriebenen Scheibe radial befestigt ist (Polar-Oszilloskop). Im ersten Fall erscheint die Glimmbedeckung als ein in

der Breite moduliertes Lichtband, dessen Rand der Kurvenform der oszillografierten Spannung entspricht, und im zweiten Fall als ein Lichtkreis, dessen Peripherie die Kurvenform der Spannung aufgeprägt ist.

Zu den bedeckungsmodulierten Glimmröhren rechnet auch die *Glimmlicht-Abstimmanzeigeröhre*, die heute jedoch durch die Elektronenstrahl-Abstimmanzeigeröhre verdrängt ist. Die Verwendung der Amplitudenröhre als ferngesteuerte Kapazität wurde bereits im Abschnitt 2.6 erwähnt.

3.1.5 *Schaltungen für Intensitätsmodulation*

Schon in den Anfangsjahren von Fernsehen und Tonfilm wurden intensitätsgesteuerte Glimmröhren als „Fernseh-Glimmlampen" zur Bildwiedergabe und als modulierte Lichtquelle für fotografische Tonaufzeichnungen benutzt. Beide Anwendungen sind längst vergessen. Heute kommt die in der Helligkeit steuerbare Glimmröhre, in erster Linie die *Punktglimmlampe*, vornehmlich in den Aufzeichnungsgeräten von Faksimile-Einrichtungen und in Seismograph-Rekordern, als Lichtsender (Lichttelefonie) sowie in opto-elektronischen Wandlern und Verstärkern und in fotoelektrischen Zerhackern (Chopper) in Verbindung mit CdSe-Fotowiderständen zur Anwendung. Intensitätsgesteuerte Glimmröhren werden auch gern als Lichtquelle für stroboskopische Zwecke und für Zeitmarkengeber verwendet, allerdings weniger wegen der Modulationsmöglichkeit des Glimmlichtes, sondern mehr wegen der größeren Helligkeit und der höheren Frequenzen dieser mit der positiven Lichtsäule arbeitenden Röhren. Neben Punkt- und Schlitzglimmröhren eignen sich dafür besonders die Röhren mit Entladungs-Kapillare.

Die Ankopplung der intensitätsgesteuerten Glimmröhre an den Modulationsverstärker (Steuerkreis) kann wie bei den Amplitudenröhren galvanisch, induktiv oder kapazitiv erfolgen. Eine Schaltungsmöglichkeit für galvanische Ankopplung ist in **Bild 3–26** wiedergegeben. Das **Bild 3–27** zeigt die Prinzipschaltung für die Umwandlung von Tonfrequenzschwingungen in Lichtschwankungen in einem *Lichttelefoniegerät* mit induktiv an den Modulationsverstärker angekoppelter Glimmröhre. In Lichtsendern muß der modulierte Lichtstrahl – um Übertragungsver-

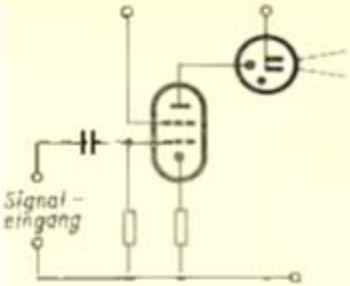


Bild 3-26 Galvanische Ankopplung einer intensitätsgesteuerten Glimmröhre

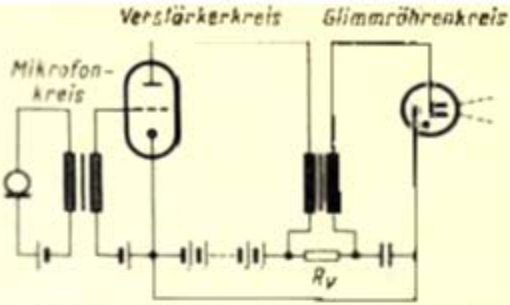


Bild 3-27 Schaltungsprinzip für die Umwandlung von Tonfrequenzschwingungen in Lichtschwankungen mit Hilfe einer intensitätsgesteuerten Glimmröhre

luste zu vermeiden – mit Hilfe von Linsensystemen möglichst scharf gebündelt und exakt auf die Empfangsstelle ausgerichtet werden. Als Empfangsdetektoren dienen vorwiegend Fotohalbleiter, deren spektrale Empfindlichkeit dem Strahlungsspektrum des Glimmlichtes (abhängig von der Gasfüllung) optimal angepaßt ist. Dann dürfte eine zweistufige Nachverstärkung meistens ausreichen.

Mit Hilfe verschiedener Modulations-Festfrequenzen läßt sich eine Lichttelefonieschaltung zu einem Lichtsender für Fernsteuerzwecke zur optischen Übermittlung von mehreren Schaltbefehlen oder anderen Informationen ausbauen.

Die Verwendungsmöglichkeit der Glimmröhren in der Stroboskopie und für Zeitmarkengabe wird im folgenden Abschnitt mit behandelt.

3.2 Ausnutzung der elektrischen Eigenschaften der Glimmentladung

3.2.1 *Kippschaltungen*

Eine sehr vielseitige Anwendung findet die Glimmröhre als Kippschwingungserzeuger. Die Grundlage dazu bildet der Unterschied zwischen der Zünd- und Löschspannung und der vor der Zündung unendlich große und nach der Zündung sehr kleine Widerstand der Entladungsstrecke. Kippschwingungen oder „diskontinuierliche Entladungen" erhält man durch das periodische Auf- und Entladen eines Kondensators über ohmsche Widerstände oder Elektronenröhren als Ladewiderstände und Glimmröhren als Entladewiderstände.

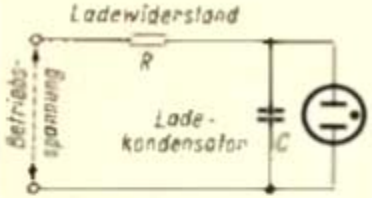


Bild 3–28 *Hittorfsche Blinkschaltung*

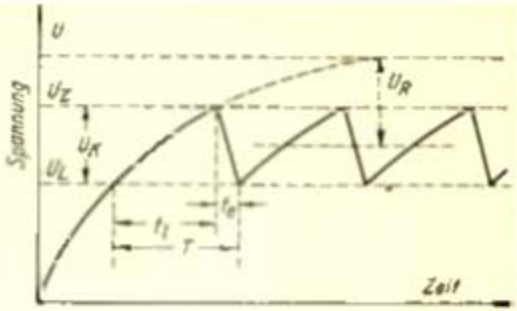


Bild 3–29 *Kippspannungskurve mit exponentiellem Anstieg (Sägezahnkurve)*

Die einfachste Kippschaltung, die *Hittorfsche Blinkschaltung*, ist aus **Bild 3–28** zu ersehen. Bestimmt durch die Zeitkonstante RC wird C bis zur Zündspannung U_Z aufgeladen. Die Entladung zündet, die Röhre leitet, und C entlädt sich über die Glimmröhre. Ist bei der Entladung die Kondensatorspannung bis auf die Löschspannung U_L gesunken, erlischt die Entladung. Die Glimmröhre hat ihre Leitfähigkeit verloren und das Spiel beginnt von neuem.

Den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung gibt das Diagramm **Bild 3–29** wieder. In jeder Periode T sind deutlich zwei Abschnitte zu erkennen: während der Aufladung der *flache* Anstieg der Kondensatorspannung bis zur Zündspannung (Hinlauf) und während der Entladung der *steile* Abfall bis auf die Löschspannung (Rücklauf). Die Differenz zwischen U_Z und U_L ist die *Kippspannung* oder *Kippamplitude* (U_K). Gegenüber der Aufladezeit t_l ist die Entladezeit t_e sehr kurz, was eine der Voraussetzungen für das Zustandekommen von Kippschwingungen ist, da es während der Entladung nicht zu einer neuen größeren Aufladung kommen darf.

Die *Aufladezeit* t_l berechnet sich

$$t_l = C \cdot R \cdot \ln \frac{U - U_L}{U - U_Z} \qquad [3\text{-}1]$$

U = Betriebsspannung, U_Z = Zündspannung, U_L = Löschspannung

(t in s, U in V, R in Ω, C in F)

Für die Entladezeit t_e gilt die Gleichung

$$t_e = C \cdot R_i \cdot \ln \frac{U_Z}{U_L} \qquad (3\text{–}2)$$

(R_i = innerer Widerstand der Röhre während der Entladung)

Die Summe $t_l + t_e$ ergibt die *Periodendauer* T der Kippschwingung. Mit Hilfe der Gleichungen (3–1) und (3–2) erhält man die Righische Gleichung

$$T = C\left(R \cdot \ln \frac{U - U_L}{U - U_Z} + R_i \cdot \ln \frac{U_Z}{U_L} \right) \qquad (3\text{–}3)$$

(T in s)

Die *Kippfrequenz* (in Hz) beträgt

$$f = \frac{1}{T} \qquad (3\text{–}4)$$

darin Gleichung (3–3) eingesetzt:

$$f = \frac{1}{C\left(R \cdot \ln \frac{U - U_L}{U - U_Z} + R_i \cdot \ln \frac{U_Z}{U_L} \right)} \qquad (3\text{–}5)$$

Da die Entladungsdauer (Rücklauf) praktisch zu vernachlässigen ist, vereinfacht sich die Gleichung (3–5) auf

$$f \approx \frac{1}{C \cdot R \cdot \ln \frac{U - U_L}{U - U_Z}} \qquad (3\text{–}6)$$

Auch aus der nachstehenden Gleichung läßt sich die Frequenz (in Hz) errechnen

$$f \approx \frac{1}{C \cdot R \cdot 2{,}3 \cdot \lg \frac{U - U_L}{U - U_Z}} \qquad (3\text{–}7)$$

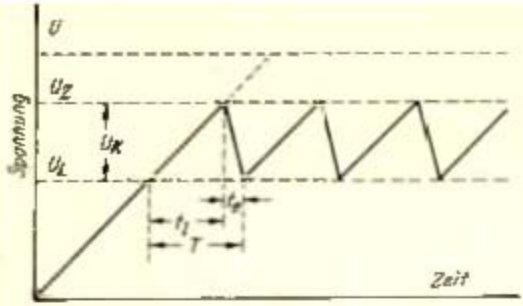


Bild 3–30 Kippspannungskurve mit linearem Anstieg

Genügt eine *annähernde* Frequenzbestimmung, geht man vom Durchschnittswert des Ladestromes aus und erhält — ohne auf die Ableitung der Gleichung näher einzugehen — ohne Berücksichtigung der Entladezeit:

$$f \approx \frac{U - \frac{U_Z + U_L}{2}}{C \cdot R \cdot U_K} \qquad (3\text{–}8)$$

Diese (logarithmusfreie) Gleichung gibt um so genauere Werte, je mehr sich der Spannungsanstieg der Geradlinigkeit nähert.

Bei der Verwendung ohmscher Widerstände als Ladewiderstände verläuft der Ladestrom *inkonstant*. Die Kondensatoraufladung erfolgt nicht gleichmäßig fortschreitend (zeitlinear), sondern nach einer *Exponentialkurve*, d. h. mit steigender Kondensatorspannung geht die Aufladung immer langsamer vor sich.

Ein zeitproportionaler, *linearer* Spannungsanstieg (**Bild 3–30**) verlangt einen konstanten Ladestrom, der sich u. a. mit einer im Sättigungsstromgebiet arbeitenden Wolframfadenröhre oder einer indirekt geheizten Pentode als Ladewiderstand erreichen läßt. Die Regelung des Ladestromes und damit eine Frequenzregelung geschieht bei der Diode durch Ändern der Heizspannung und bei der Pentode durch Änderung der Steuer-, besser: der Schirmgitterspannung.

In den Schaltungen mit Laderöhren hängt die Ladezeit praktisch vom Ladekondensator, von der Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung sowie vom Ladestrom I_l ab. Dann bestimmt sich die Ladezeit t_l aus der Gleichung

$$t_l = \frac{C\,(U_Z - U_L)}{I_l} \qquad (3\text{–}9)$$

Für die Entladung gilt Gleichung (3–2). Aus den Gleichungen (3–9) und (3–2) berechnet sich die Kippfrequenz. Bleibt der Rücklauf wieder unberücksichtigt, ergibt sich

$$f \approx \frac{I_l}{C\,(U_Z - U_L)} \qquad [3–10]$$

Da nun $U_Z - U_L = U_K$ (Kippamplitude), wird eine weitere Vereinfachung für f erhalten:

$$f = \frac{I_l}{C \cdot U_K} \qquad [3–11]$$

Ein weiterer Weg zur Erzielung eines praktisch geradlinigen Spannungsanstieges ist der, daß man aus dem ansteigenden exponentiellen Kurventeil in Bild 3–29 ein nur kleines Stück herausschneidet, z. B. durch Einstellung einer kleinen Kippamplitude. Dann ergibt sich ein gerader Kurvenausschnitt, jedoch mit einer so geringen Amplitude, daß eine Nachverstärkung notwendig ist.

Während in den Kippschaltungen mit ohmschen Ladewiderständen die Zeitkonstante RC und die Zünd-, Lösch- und Betriebsspannung die frequenzbestimmenden Faktoren sind, wird die Frequenz in der linearisierten Schaltung mit Laderöhren nur von Ladekondensator, Ladestrom und Kippamplitude bestimmt. Mit normalen Glimmröhren sind infolge der Trägheit der Glimmvorgänge Frequenzen bis etwa 4..5 kHz zu erreichen. Für höhere Frequenzen kommen Glimmrelaisröhren (bis etwa 12 kHz), Glühkatoden-Thyratrons und Hochvakuumröhren in Betracht.

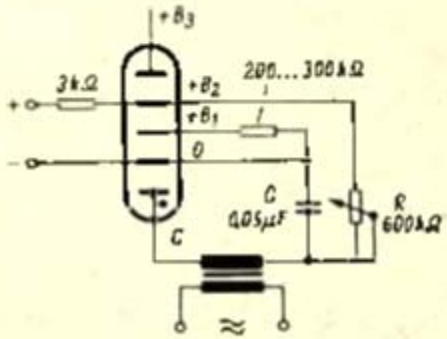


Bild 3–31 Erzeugung konstanter Kippschwingungen mittels Mehrstrecken-Stabilisatorröhre

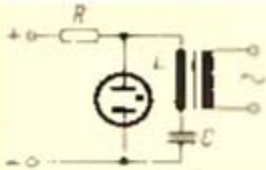
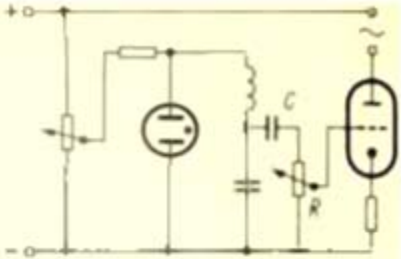


Bild 3-32 Induktiver Glimmröhren-Kippgenerator



Rechts: Bild 3–33 Sinuswellengenerator mit Verstärkerstufe. Für f = 500 bis 1000 Hz ergibt sich für C ein Wert von etwa 0,05 µF und für R ein Wert von 2 bis 5 MΩ

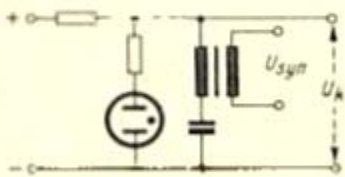
Verlangt die Schaltung hohe Frequenzkonstanz, wird die Betriebsspannung zweckmäßig einer Batterie oder einem stabilisierten Netzgerät entnommen. Zur Ausschließung von Frequenzänderungen durch Speisespannungsänderungen lassen sich nach **Bild 3–31** auch Mehrstrecken-Glimmstabilisatoren anwenden, von denen zwei Entladungsstrecken zur Spannungshaltung dienen und eine für die Kippschwingungserzeugung.

Eine von der Betriebsspannung praktisch unabhängige Kippfrequenz liefert der *induktive* Glimmröhrengenerator in **Bild 3–32**, bei dem eine Serienschaltung von *C* und *L* (Resonanzleitkreis) parallel zur Röhre liegt. Durch Einfügung der Induktivität erfährt die Sägezahnkurve eine starke Formveränderung, die Entladezeit wird erheblich verlängert, und die Kurvenspitzen werden abgeflacht. Tritt in den üblichen Kippschaltungen mit Erhöhung der Spannung eine Frequenzsteigerung ein, verläuft beim induktiven Generator die Frequenzzunahme immer flacher, je mehr sich die Kippfrequenz der Resonanzfrequenz des Leitkreises nähert. Beim Erreichen der Resonanzfrequenz ist die Kippfrequenz von Betriebsspannungsschwankungen praktisch unabhängig. Zugleich lassen sich jetzt dem Resonanzkreis *ungedämpfte* Sinusschwingungen entnehmen. Als Beispiel eines Sinuswellenerzeugers ist in **Bild 3–33** die Prinzipschaltung des *Kock-Generators* dargestellt. Da die Schwingungsamplitude nur gering ist, bedarf diese Schaltung eines Verstärkers. Um möglichst reine Sinusschwingungen zu erzielen, muß *C* einen verhältnismäßig hohen Wert aufweisen, was dann auch für *R* gilt, damit *C* keinen stärkeren Einfluß auf den Schwingkreis ausüben kann.

Die bisher beschriebenen (ungesteuerten) *freien* Kippschwingungen sind durch Überlagerung mit einer Wechselspannung leicht zu *synchronisieren*, d. h. in *erzwungene* Kippschwingungen umzuwandeln. Mit den Größen *U*, R und C wird die Eigenfrequenz des Kippkreises der Synchronisierfrequenz angenähert und die Synchronisierungsspannung entweder der Röhre direkt oder der Schaltung zugeführt. Die Ankopplung der Synchronisierspannung kann auf ohmschem, induktivem oder kapazitivem Wege geschehen. Die Zündung der Entladung erfolgt dann stets in dem von der Synchronisierfrequenz bestimmten Augenblick. Je stärker man den Synchronisierzwang $\left(= \frac{\text{Synchronisierspannung}}{\text{Kippspannung}}\right)$ wählt, desto stabiler wird die Synchronisierung. Eine zu große Synchronisieramplitude kann allerdings zu einer Verzerrung der Kippschwingung führen.

Als Beispiel für die induktive Einspeisung der Synchronisierspannung in eine Glimmdinde gibt **Bild 3–34** eine *Frequenzteilerschaltung* wieder. Hier wird der langsameren freien Kippschwingung die höhere Synchronisierfrequenz induktiv überlagert. Das Umkippen erfolgt jetzt immer nur in jeder 9. Periode, die Kippfrequenz stellt also den 9. Teil der Synchronisierfrequenz dar (Frequenzteilung 9 : 1).

In **Bild 3–35** ist der synchronisierte Kippgenerator mit einem Kipp-Glimmrelais bestückt, dem die Synchronisierspannung direkt über eine Hilfselektrode zugeführt wird. Um die Kippfrequenz sicher mitzunehmen, darf der Synchronisierzwang nicht zu schwach sein.



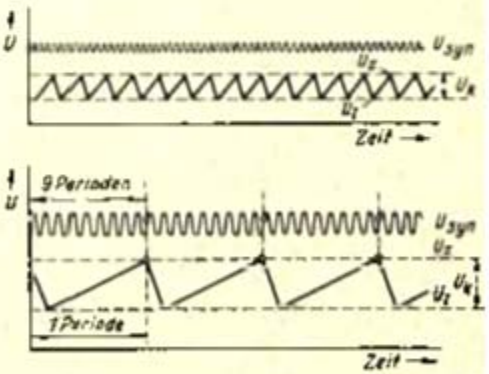


Bild 3–34 Frequenzteilung durch synchronisierte Kippspannung. Oben: Schaltung. Rechts oben: freie Kippschwingung (darüber die Synchronisierspannung). Rechts unten: Frequenzteilung 9 : 1

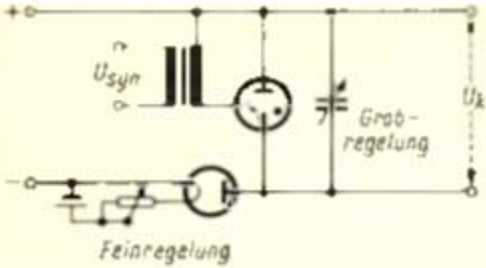


Bild 3–35 Synchronisierter Kippgenerator mit Glimmrelais. Frequenzänderung durch Regelung der Ladekapazität und des Ladestromes

Nachstehend einige Beispiele von Kippschaltungen. Als Röhre läßt sich jeder normale Typ ohne eingebauten Widerstand benutzen, höhere Kippspannungen – bis zu 300 V – liefern jedoch die speziellen *Kipp*röhren. Anstelle der Kippspannung wird in den Datenblättern mitunter die *Brennspannungsdifferenz* (Zündspannung – Löschspannung) angegeben; fehlt in den Datenangaben die Löschspannung, ist dafür die *minimale* Brennspannung einzusetzen. Der für einen Röhrentyp festgelegte maximal zulässige Anodenstrom darf auf keinen Fall überschritten werden, andernfalls tritt eine Verkürzung der Lebensdauer ein. Gegebenenfalls ist der Glimmröhre ein zusätzlicher Schutzwiderstand (**Bild 3–36**) vorzuschalten, sofern diese Aufgabe nicht bereits eine Relaiswicklung übernimmt. Da die Löschspannung einer Glimmröhre mit steigender Frequenz zunimmt, die Zündspannung aber sinkt, so nähern sich bei hohen Frequenzen U_Z und U_L immer mehr, d. h. die Kippspannung ist *frequenzabhängig*; je höher die Frequenz, desto kleiner die Kippspannung. Jeder Glimmröhrentyp hat entsprechend seinem Aufbau eine maximale Kippfrequenz; wird sie überschritten, reichen die Entladungspausen zur Deionisierung des Entladungsraumes nicht mehr aus, und die Glimmentladung brennt ständig.

Die einfachste Form einer Kippschaltung ist die bereits erwähnte Blinkschaltung (vgl. Bild 3–28), die in der Technik eine vielfache Anwendung findet. Dank des geringen Brennstromes

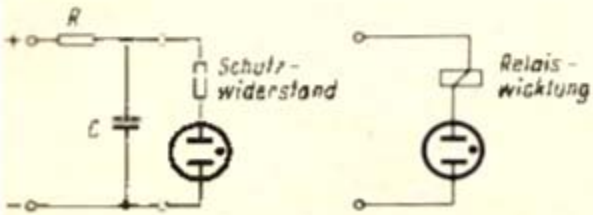


Bild 3–36 Kippschaltung mit zusätzlichem Röhren-Schutzwiderstand, an dessen Stelle auch die Relaiswicklung treten kann

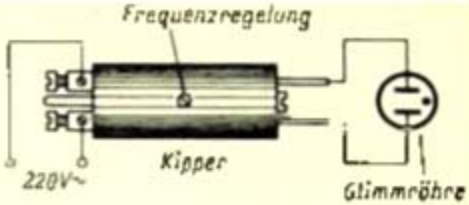


Bild 3–37 Anschaltung des Signalkippers

der Glimmröhren und mit Hilfe von Subminiatur-Bauelementen lassen sich Kipphlinkschaltungen derart kompakt aufbauen, daß sie in dem nur wenig vergrößerten Sockel einer normalen Signalglimmlampe Platz finden (vgl. Bild 2–9). Neben diesen *Signalblinklampen* steht der *Signalkipper* [Bez], eine ebenfalls miniaturisierte Kippschaltung — *ohne Röhre* — mit einer stufenlos regelbaren Frequenz von etwa 20 bis 180 Imp/min zur Verfügung, die in einem kleinen Kunststoffzylinder von 42 mm Länge und 15 mm Durchmesser eingesetzt ist. Der Kipper enthält einen Netzgleichrichter (Diode), den regelbaren Ladewiderstand und den Ladekondensator und braucht nach **Bild 3–37** nur zwischen das Wechselstromnetz und eine normale Glimmröhre geschaltet zu werden, um aus ihr eine *Blinkglimmlampe* zu machen. Diese Kippeinrichtung ist vor allem dann von Vorteil, wenn es sich um in Geräte oder Anlagen bereits eingebaute Glimmlampen handelt, die *nachträglich* zum Blinken gebracht werden sollen.

In *Elektronen-Blitzgeräten* ist die Blinkschaltung sehr oft als *Aufladeanzeiger* zu finden, wo die Glimmröhre entweder während oder nach erfolgter Aufladung des Blitzkondensators periodisch aufleuchtet. Als Kippröhren kommen für diesen Zweck nur sockellose Röhren mit kleinsten Abmessungen in Betracht.

Glimmröhren-Blinkschaltungen lassen sich auch mit Transistoren ansteuern. In der von Siemens angegebenen Schaltung in **Bild 3–38** ist im 220-V-Betrieb mit einem astabilen Transistor-Multivibrator eine Blinkfrequenz von annähernd 1,5 Hz zu erzielen. Bei Einhaltung der eingezeichneten Schaltungswerte soll die Differenz zwischen Zünd- (etwa 110 V) und Löschspannung der Glimmröhre 30 V nicht überschreiten und der Brennstrom nicht über 0,5 mA liegen. Zu seiner Einstellung dient der Widerstand R 1, während am Potentiometer R 2 die Glimmröhrenspannung eingestellt wird. Der gestrichelt gezeichnete 10-µF-Kon-

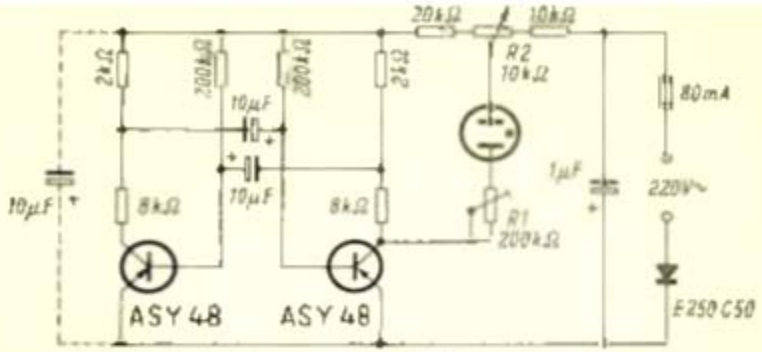


Bild 3–38 Blinkschaltung für 220-V-Wechselstrombetrieb mit Ansteuerung durch einen astabilen Transistor-Multivibrator

densator vermeidet während des Umschaltens das Auftreten von höheren – die Transistoren gefährdenden – Spannungen; er ist nur als Sicherheitsfaktor gedacht und kann auch fortbleiben.

Soll die Speisung einer Blinkschaltung mit niedriger Batteriespannung erfolgen, die naturgemäß zur Zündung der Glimmröhre nicht ausreicht, wird ein *Transistor-Gleichspannungswandler* zwischengeschaltet. Hierfür eignen sich die Gleichspannungswandler nach dem Prinzip der Sperrwandler besonders gut. Ihre Betriebsspannung liegt meistens bei 6 oder 12 V, die Ausgangsspannung richtet sich nach der Höhe der Zündspannung und des Brennstromes der vorgesehenen Glimmröhre. Eine Prinzipschaltung einer *batteriebetriebenen Blinkschaltung* in Verbindung mit einer Kombination aus Eintakt-Zerhacker und Sperrschwinger zeigt **Bild 3–39**.

Reicht die Helligkeit der in eine Blinkschaltung eingesetzten Glimmröhre nicht aus, läßt sie sich durch die wesentlich lichtstärkere *Xenon-Blitzröhre* ersetzen, wobei der dem Blitzröhrentyp angepaßte Kippkreis die Entladungsröhre direkt oder über eine zusätzliche Relaisröhre ansteuern kann.

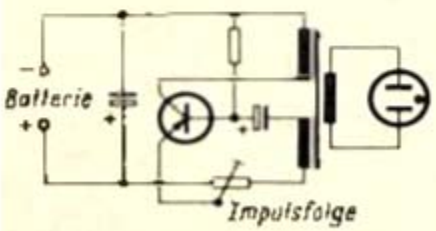


Bild 3–39 Prinzipschaltung einer batteriegespeisten Glimmröhren-Blinkschaltung

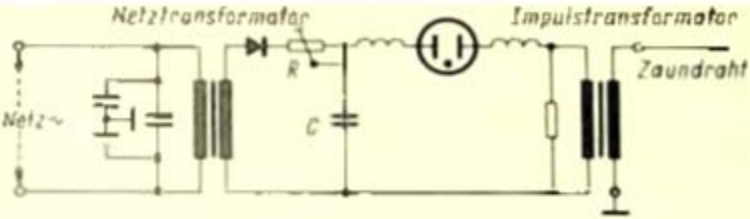


Bild 3-40 Prinzipschaltung eines elektronischen Weidezaungerätes

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit von Kippschwingungen besteht in deren Aufwärtstransformation zur Erzeugung von Hochspannungsimpulsen. Auf diesem Prinzip beruhen u. a. die *elektronischen Weidezaungeräte* (**Bild 3–40**). Die im Netztransformator auf etwa 400 bis 500 V erhöhte und gleichgerichtete Spannung lädt über den Widerstand R den Kondensator C langsam auf. Ist die Zündspannung der Glimmstrecke erreicht, setzt die Entladung ein, und der Kondensator entlädt sich über die Primärwicklung des Impulstransformators. In der Sekundärwicklung entsteht ein kurzer – ungefährlicher – Hochspannungsstoß, der, in den isoliert aufgehängten Zaundraht geschickt, die den Draht berührenden Tiere erschreckt.

Die in den Stromlauf eingefügten Entstörungsmittel sollen eine Beeinträchtigung des Rundfunkempfanges durch die periodischen Entladungsimpulse vermeiden. In Verbindung mit Transistorschaltungen lassen sich Glimmröhren-Weidezaungeräte auch aus Batterien speisen.

Mit freien oder synchronisierten Kippschwingungen arbeiten auch die *Lichtblitz-Stroboskope*. Damit der zu beobachtende Bewegungsvorgang keine Unschärfe erleidet, müssen die Geräte eine möglichst kurze Blitzdauer aufweisen. Die Dauer eines Lichtblitzes entspricht hierbei der in den Kurvenbildern 3–29 und 3–30 mit t_e bezeichneten Entladungszeit. Die Blitze sollen sehr hell, und ihre Frequenz soll regelbar sein. Die Blitzfrequenz ist identisch mit der Kippfrequenz, da die Glimmröhre in jeder Kipperiode nur einmal aufleuchtet. Befinden sich Blitzfrequenz und Periodizität des ablaufenden Bewegungsvorganges im Gleichlauf, stehen die beobachteten Objekte scheinbar still.

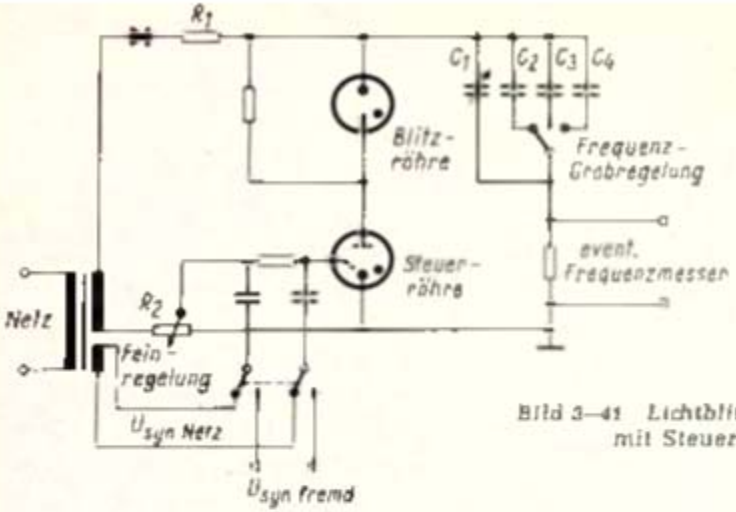


Bild 3–41 Lichtblitz-Stroboskop mit Steuerröhre

Im Grunde ist ein Lichtblitz-Stroboskop im einfachsten Aufbau nichts anderes als eine Hittorfsche Blinkschaltung. Kippröhre und Stroboskopröhre sind dabei identisch, d. h. die Kippröhre fungiert gleichzeitig als Lichtquelle und umgekehrt die Stroboskopröhre zu gleicher Zeit als Schwingungserzeuger. In diesem Fall spricht man von einem eigenerregten oder selbstgesteuerten Stroboskop. Bei einem fremdgesteuerten Stroboskop überläßt man die Erzeugung der Kippfrequenz einer Röhren- oder einer Transistorschaltung (z. B. Relaisröhre oder Multivibrator), oder man nimmt die Steuerung von außen her durch vom Untersuchungsobjekt selbst ausgelöste Spannungsimpulse (Kontaktsteuerung) oder durch fotoelektrische oder magnetische Impulse vor. Als Indikator der Kippfrequenz dient die Glimmröhre.

Ein Schaltungsbeispiel für ein *Glimmröhren-Stroboskop* mit Relaisröhren-Steuerung ist in **Bild 3–41** gezeichnet. Die Regelung der Blitzfrequenz geschieht hier grob durch verschieden große Kapazitäten (C_1 bis C_4) und fein durch das Potentiometer R_2. Die aus dem Netz bezogene oder fremd eingespeiste Synchronisierspannung wird dem Starter der Steuerröhre zugeführt. Falls die Helligkeit der rot leuchtenden neon-gefüllten Glimmröhre nicht genügt, verwendet man auch hier Spezial-Stroboskopröhren (Blitzröhren) mit weiß leuchtender Xenonfüllung.

In einfachen Stroboskop-Einrichtungen läßt sich die Glimmröhre direkt aus dem Wechselstromnetz speisen. R und C sind

dabei zweckmäßig so zu wählen, daß die Zündspannung der Röhre erst bei Erreichen der Scheitelspannung überschritten wird.

Aus der Vielzahl der Stroboskop-Anwendungen sollen nur die Prüfung des Arbeitens von Zerhacker- oder Relaiskontakten, das Schwingen von Lautsprechermembranen, Untersuchungen an tönenden Musikinstrumenten und aus der Starkstromtechnik die Messung der Pendelung von Synchronmaschinen erwähnt sein. Bei der Messung oder Kontrolle von Drehzahlen verursachen die Lichtblitz-Stroboskope keine zusätzliche Belastung des Prüfobjektes, diese erfolgt vielmehr optisch-leistungslos.

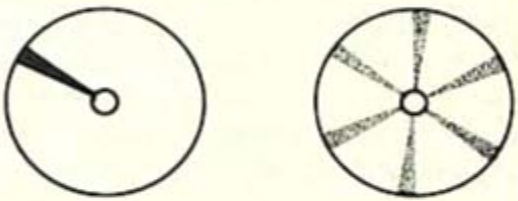


Bild 3–42 Stroboskopscheibe zur Drehzahlmessung

Zur Messung von Drehzahlen erhält die mit der Rotorachse fest verbundene „Stroboskopscheibe" einen schmalen Sektor oder Strich als Beobachtungsmarke (**Bild 3–42** links). Besteht zwischen Drehzahl und Lichtblitzzahl ein ganzzahliges Verhältnis, so sieht man mehrere Sektoren scheinbar still stehen (Bild 3–42 rechts). Dann ist die Drehzahl

$$n = \frac{F \cdot 60}{z} \text{ [U/min]} \qquad (3\text{–}12)$$

F = Lichtblitzfrequenz/s (nicht mit der Netzfrequenz zu verwechseln!)
z = Zahl der scheinbar still stehenden Sektoren

Bei der sekundlichen Lichtblitzzahl (Blitzfrequenz) ist zu berücksichtigen, ob beide Röhrenelektroden sichtbar sind und zur Beleuchtung beitragen oder nur eine. Grundsätzlich leuchten bei 50-Hz-Betrieb in jeder Periode abwechselnd beide Elektroden auf, jede 50mal je Sekunde. Sind nun beide Elektroden sichtbar, erhalten wir 100 Lichtblitze/Sekunde; ist die eine jedoch verdeckt, leuchtet die Röhre nur 50mal je Sekunde auf, was übrigens auch bei Einweggleichrichtung der Fall ist.

Bei der Drehzahl-*Überwachung* geht man vom Sollwert der Drehzahl aus und teilt die Strohoskopscheibe in z Sektoren, wobei z durch Umstellung der Gleichung (3–12) errechnet wird:

$$z = \frac{F \cdot 60}{n}$$

Bei der Soll-Drehzahl stehen die Markierungen scheinbar still, bei höherer Drehzahl bewegen sie sich langsam in Drehrichtung weiter, bei niedrigerer Drehzahl entgegen der Drehrichtung.

Kippschaltungen, deren Frequenzen im *hörbaren* Schwingungsbereich liegen, werden überwiegend als Tonerzeuger benutzt und als Glimmröhren-*Tongeneratoren* oder – in der einfachsten Schaltungsform – als *Glimmsummer* bezeichnet. Zur Tonerzeugung wird der *freischwingende* Glimmröhren-Sägezahngenerator vor allem wegen des hohen Anteils des Frequenzgemisches an harmonischen Teiltönen verwendet. Zur Unterstützung dieser Eigenschaft ist eine sehr steile Entladungsflanke der Kippschwingung anzustreben, d. h. die Entladung des Ladekondensators soll möglichst schnell – beispielsweise über Dioden – erfolgen.

Eine einfache Kippschaltung zur Verwendung als *Tongenerator* (Glimmsummer) mit einer *festen* Frequenz gibt **Bild 3–43** wieder. Die Frequenz der Sägezahnspannung, die Tonhöhe, wird dabei von den Gliedern R und C sowie von der Zünd- und Löschspannung der Röhre und der Höhe der Betriebsspannung bestimmt; ihre Berechnung wurde bereits weiter oben angegeben. Um Formverzerrungen der erzeugten Spannung zu vermeiden, kann das Glied $R'C'$ nachgeschaltet werden, hinter dem die Tonfrequenz abgenommen wird. Es soll einen Mindestwert von

$$R' \cdot C' = \frac{4\,000\,000}{f}$$

R' in MΩ, C' in pF, f in Hz

besitzen. Eine weitere Art der Tonfrequenzabnahme über zwei *Koppelkondensatoren* zeigt **Bild 3–44**. Gegenüber dem Eingangswiderstand des nachgeschalteten Verbrauchers muß der kapazitive Widerstand der Koppelkondensatoren C_k vernachlässigbar klein sein.

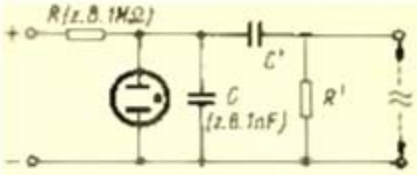


Bild 3–43 Tongenerator für eine Festfrequenz

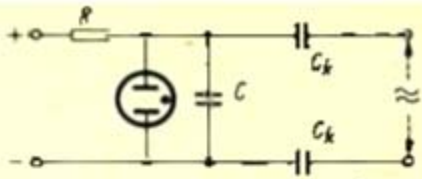


Bild 3–44 Tonfrequenzabnahme über Koppelkondensatoren (C_k)

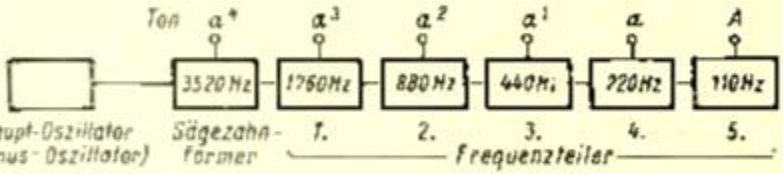


Bild 3–45 Tonerzeugungssystem mit Hauptoszillator und Frequenzteiler für die Tonreihe a^1 bis A

Zur Gewinnung einer *veränderlichen* Tonfrequenz wird statt des Festkondensators eine variable Kapazität (Drehkondensator) benutzt, oder man arbeitet mit mehreren umschaltbaren Festkondensatoren verschiedener Kapazitäten.

Glimmröhren-Tongeneratoren mit Festfrequenz finden bevorzugt in elektronischen Musikinstrumenten, beispielsweise in „Neon-Orgeln", Verwendung. Dabei werden die zwölf Töne der obersten vom Instrument erfaßten – meistens viergestrichenen – Oktave in Sinusoszillatoren und die zugehörigen Suboktavtöne in Glimmröhren-Sägezahnoszillatoren (Frequenzteiler) erzeugt. Für die Reihe der Töne a^1 bis A ist dieses Tonerzeugungssystem in **Bild 3–45** dargestellt. Die praktische Ausführung einer solchen Frequenzteilerschaltung ist aus **Bild 3–46** als Ausschnitt aus der Gesamtschaltung des elektronischen Musikinstrumentes „Philicorda" von Philips zu ersehen.

Da die Frequenz der Sägezahnspannung eine hohe Konstanz aufweisen muß, ist neben der Stabilisierung der Betriebsspannung die Synchronisierung der freischwingenden Sägezahngeneratoren notwendig. Der Sägezahnoszillator für den höchsten Ton (Sägezahnformer, Bild 3–46 links) erhält seine sinusförmige Synchronisierspannung von dem zur Tonreihe gehörenden Hauptoszillator, die Synchronisierung der Sägezahngeneratoren in den Teilerstufen geschieht jeweils mit Hilfe der Frequenz der voran-

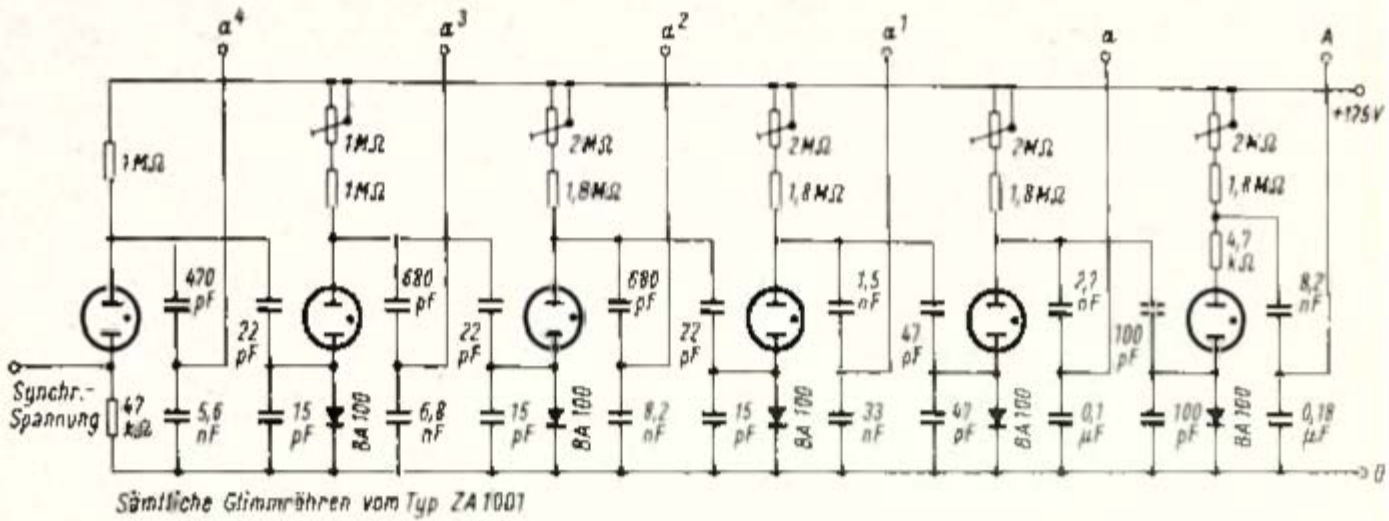


Bild 3–46 Schaltung der Sägezahnoszillatoren für die Töne a⁴ bis A
(Ausschnitt aus der Gesamtschaltung der „Philicorda")

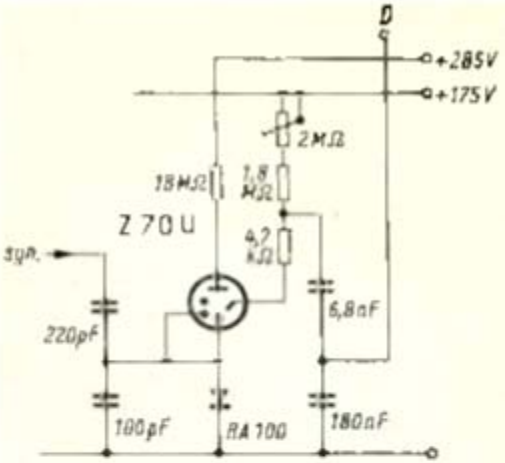


Bild 3–47 Teilerstufe für den Ton D mit der Relaisröhre Z 70 U

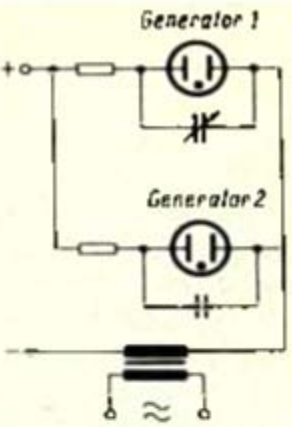


Bild 3–48
Glimmröhren-Schwebungssummer

gegangenen Teilerstufe. Dabei wird die Frequenz der Teilerstufe von der (synchronisierenden) Frequenz von der vorangegangenen Stufe in die zweite Subharmonische – das ist die erste Suboktave – mitgenommen. Die Einspeisung der Synchronisierspannung erfolgt von der Anode der vorangehenden Glimmröhre über einen kapazitiven Teiler in die Katode der nachfolgenden Röhre. Die in den Teilerstufen eingefügte Si-Diode BA 100 hat auch hier die Aufgabe, für schnellste Entladung der Kondensatoren, also für eine hohe Flankensteilheit der Sägezahnspannung, zu sorgen. In der Löschphase der Glimmröhre ergibt die Diode einen hohen Widerstand und bietet damit die Möglichkeit, mit kleinen Kapazitäten den Röhren eine hohe Synchronisierspannung zuzuführen.

Als Glimmröhre kommt in der „Philicorda" der Typ ZA 1001 [Val] zur Anwendung. Nur die Teilerstufen für die fünf niedrigsten Frequenzen (z. B. C = 65,4 Hz oder E = 82,4 Hz) sind mit der Subminiatur-Relaisröhre Z 70 U [Val] bestückt, da für diese Stufen eine einfache Glimmdiode zu träge wäre. Ein Schaltungsbeispiel bringt das **Bild 3–47** für die Teilerstufe für den Ton D = 73,4 Hz.

Durch Überlagerung von zwei – wenig voneinander abweichenden – Frequenzen sind neben den Grundfrequenzen Schwebungen sowie deren Oberwellen zu erzielen. Eine Schaltung für

einen solchen *Glimmröhren-Schwebungssummer* ist in **Bild 3–48** wiedergegeben.

In der *Glimmbrücke* nach **Bild 3–49** zur Messung von Widerständen und Kapazitäten bilden R_n als Ladewiderstand, C_n als Ladekondensator und die Glimmröhre einen Kippkreis, dessen Frequenz (Tonhöhe) mit einem Telefon oder Lautsprecher abgehört wird. Den unbekannten Widerstand schaltet man an die Klemmen R_x, worauf der Umschalter U_1 wechselweise umgelegt und gleichzeitig der Normalwiderstand R_n solange verändert wird, bis in beiden Schalterstellungen gleich hohe Töne zu hören sind. Dann entspricht R_x dem an R_n abgegriffenen Wert. – Ähnlich verläuft die Messung einer unbekannten Kapazität. Auch die Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten ermöglicht die Glimmbrücke.

3.2.2 *Relaisröhrenschaltungen*

3.2.2.1 Relaisschaltungen mit Glimmdioden

Wie bereits in Abschnitt 2.3 gesagt, kann jede Glimmdiode als spannungsgesteuertes Relais angesprochen werden, da sie erst nach Überschreitung der Zündspannung stromleitend wird. Trotz des einfachen Schaltungsaufbaues werden Glimmdioden in Relaisschaltungen wegen der mangelhaften Reproduzierbarkeit des Ansprechens, d. h. des Zündeinsatzes, und wegen der geringen Ansprechempfindlichkeit kaum noch verwendet. Trotzdem sollen hier aus informatorischen Gründen drei Schaltungen angegeben sein.

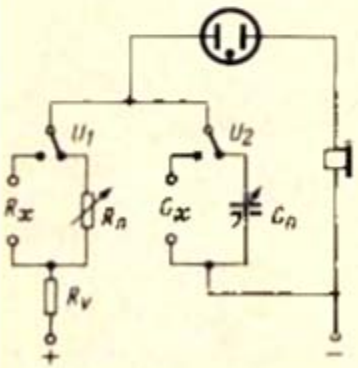


Bild 3–49 Prinzipschaltung der Glimmbrücke

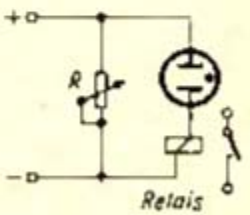


Bild 3–50 Glimmdiode in Relaisschaltung

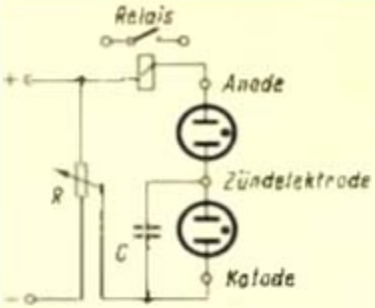


Bild 3–51 Relaisschaltung mit zwei Glimmdioden in Serie

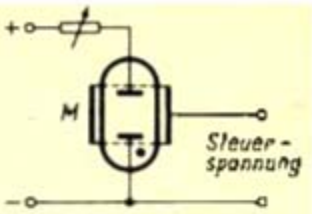


Bild 3–52 Glimmdiode mit Außensteuerung

Eine sehr einfache Relaisschaltung, die zur Meldung von Spannungserhöhungen dienen kann, ist in **Bild 3–50** gezeichnet. Der Regelwiderstand R wird so eingestellt, daß sein Spannungsabfall unter der Zündspannung liegt, wieviel, hängt von der verlangten Empfindlichkeit ab. Steigt die Verbrauchsspannung, so nehmen Strom und Spannungsabfall an R zu, die Röhre zündet, und der Glimmstrom betätigt das Relais.

Die Schaltung **Bild 3–51** ist wesentlich empfindlicher, sie besteht aus einer Serienschaltung von zwei Glimmröhren, einem Relais und der Spannungsquelle. Der Mittelanschluß zwischen den Röhren arbeitet als Zündelektrode. Mit Hilfe des Widerstandes R wird die an den Röhren liegende Gesamtspannung wieder so eingestellt, daß sie nur etwas weniger als die Summe beider Zündspannungen beträgt. Die Kapazität C dient lediglich der Zünderleichterung.

In der nächsten Schaltung **Bild 3–52** hat die Glimmröhre eine Metallmanschette M erhalten, die als Außensteuerelektrode wirkt. Die Vorspannung ist wieder dicht unterhalb der Zündspannung eingestellt. Erhält die Außenelektrode einen Spannungsstoß, entsteht im Gasraum eine hohe Feldstärke, die zur Vorionisierung und zur Zündung führt. Nach der Zündung bleibt die Steuerspannung ohne jeden Einfluß, die Entladung ist nur durch Unterbrechen des Hauptkreises oder durch Absenkung der Röhrenspannung bis unter die Löschspannung zu löschen.

3.2.2.2 Grundschaltungen der Relaisröhre

Relaisröhren stehen für Gleich- und Wechselstrombetrieb zur Verfügung, die ersten weisen allgemein eine höhere Empfindlich-

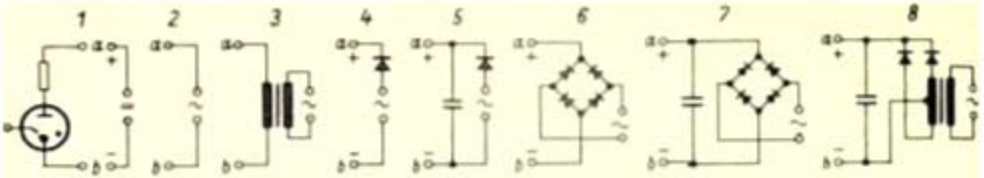
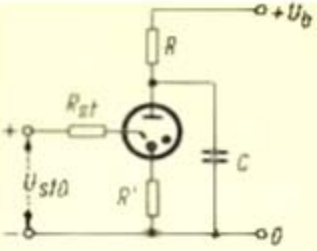


Bild 3–53 Speisemöglichkeiten der Hauptstrecke (Anodenkreis)

keit auf. Die Röhren dürfen nur in den in den Daten angegebenen Quadranten betrieben werden. Die Speisung des Anodenkreises – der Hauptstrecke a/k – kann mit Gleichstrom (**Bild 3–53–1**) oder Wechselstrom erfolgen, im letzten Fall entweder direkt aus dem Netz (53–**2**) oder über einen Trenn-Transformator (53–**3**), dessen Leerlaufspannung 220 V nicht wesentlich übersteigen sollte. Weitere Speisemöglichkeiten sind der Halbwellenbetrieb (53–**4**) und der Vollwellenbetrieb (53–**6**), der eine schnellere Zündfolge ergibt, sowie die Halbwellen-Gleichrichtung (53–**5**) und die Vollwellen-Gleichrichtung mit Brückengleichrichter (53–**7**) oder in Mittelpunktschaltung (53–**8**). In den Wechselstromschaltungen 53–2, 3, 4 und 6 erlischt die Entladung mit Ausbleiben der Steuerspannung, weil die Anodenspannung in jeder Halbwelle unter die Löschspannung absinkt. In den übrigen Gleichstromschaltungen bleibt die Entladung nach dem Fortbleiben der Steuerspannung bestehen und muß durch Abschalten oder Absenken der Speisespannung bis unter die Löschspannung oder durch besondere Löschschaltungen unterbrochen werden. Zwei Beispiele für selbsttätiges Löschen bei Gleichspannungsspeisung bringen die **Bilder 3–54** und **3–55**.

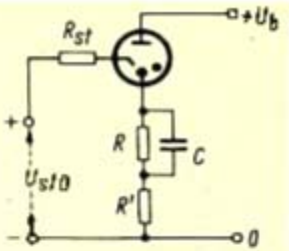
Enthält die Relaisröhre eine Hilfsentladungsstrecke für Vorionisierung, so ist darauf zu achten, daß bei verschiedenen Röhrentypen die Löschschaltung für die Hauptstrecke die Entladung der Vorionisierungsstrecke nicht mitlöschen darf. Bei Wechselspannungsbetrieb soll die Vorionisierungsstrecke auch während der negativen Halbwelle weiter brennen, was nach **Bild 3–56** durch eine Gleichspannungsspeisung der Vorionisierungsanode bzw. -katode zu erreichen ist.

Die Steuerung der Relaisröhre erfolgt durch Zündung der Hilfsentladungsstrecke Starter–Katode und wird überwiegend durch Anheben der Spannung $U_{a/k}$ bis über die Starterzünd-



Links: Bild 3–54 Selbstlöschende Schaltung bei Gleichspannungsbetrieb (C parallel zu R')

Rechts: Bild 3–55 Selbstlöschende Schaltung bei Gleichspannungsbetrieb (C in Serie mit R')



spannung U_{stZ} vorgenommen. Je größer der Starterstrom zur Einleitung der Hauptentladung ist, desto mehr nähert sich die Anodenspannung für die Zündübernahme der Brennspannung der Röhre. Die Steuerung kann mit Gleichstrom, Wechselstrom oder Hochfrequenz vorgenommen werden. Relaisröhren lassen sich zwar mit sehr niedrigen Steuerströmen ansteuern, verlangen jedoch höhere Steuerspannungen. Die zur Übernahme der Hauptentladung erforderlichen minimalen Zündströme (Starterströme) sind jeweils den Daten der verwendeten Röhre zu entnehmen, ebenso die Starterspitzenströme, die keinesfalls überschritten werden dürfen.

Alle Steuerschaltungen (Zündschaltungen) der Relaisröhre zeichnen sich durch einen sehr einfachen Aufbau aus. In der Schaltung **Bild 3–57–1** wird die Hauptentladung durch Erhöhung der zwischen Zündelektrode (Starter) und Katode anliegenden Spannung $U_{st/k}$ bis zur Starterzündspannung U_{stZ} gezündet. Der in die Starterleitung eingefügte Begrenzungswiderstand R_{st} hat die Aufgabe, eine Überschreitung des Starterspitzenstromes zu verhüten; er kann entfallen, wenn der Innenwiderstand der Starter-Spannungsquelle genügend hoch ist und diese die strombegrenzende Funktion übernimmt.

An die Stelle der direkten Steuerung kann die Kippsteuerung nach Bild 3–57–2 treten, die mit niedrigsten Steuerströmen aus-

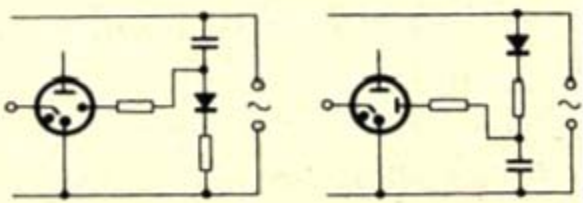


Bild 3–56 Gleichspannungsspeisung der Vorionisierungs-Katode (links) bzw. -Anode (rechts)

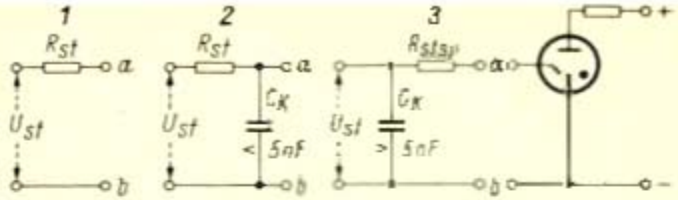


Bild 3–57 Grundsätzliche Ansteuerungsschaltungen

kommt (vergl. Abschnitt 2.3). Der für die vorgesehene Röhre günstigste Wert für den Kippkondensator (C_K) ist aus den Daten ersichtlich. Bei größeren Kapazitäten, etwa ab 5 nF, wird zwischen Starter und Kippkondensator ein Begrenzungswiderstand ($R_{St\,sp}$ in Bild 3–57–3) eingebaut, der den Kondensator-Entladestrom auf den höchstzulässigen Wert des Starterspitzenstromes begrenzt.

Da die Steuerspannungsquelle die zum Zünden der Starterstrecke notwendige, verhältnismäßig hohe Spannung in den meisten Fällen nicht aufbringen kann, überlagert man dieser eine Startervorspannung U_{St0} [**Bild 3–58**]. Diese wird so gewählt, daß sie *allein* nicht zur Zündung der Starterstrecke ausreicht, sondern nur zusammen mit der überlagerten Steuerspannung, die eine Gleichspannung (Bild 3–58–1), eine Wechselspannung (58–2) oder ein Impuls (58–3) sein kann. Bei Wechselstrombetrieb besteht die Möglichkeit, als Vorspannung ebenfalls eine Wechselspannung zu verwenden, eine Schaltung, die vor allem bei der Entnahme der Anodenspeisespannung aus einem Transformator interessant ist. Oftmals wird dabei in die Vorspannungsleitung eine Diode eingefügt, damit bei negativer Anodenspannung keine Zündung erfolgt.

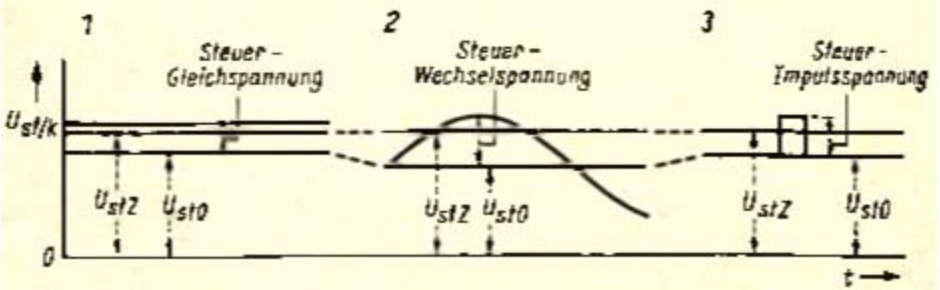
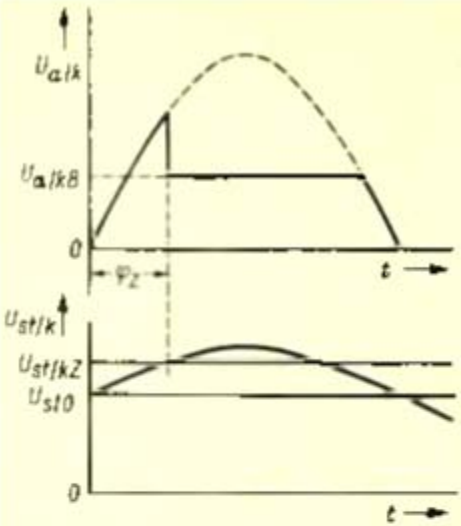


Bild 3–58 Ansteuerung mit Startervorspannung



Links: Bild 3–58 Steuerung mit einer zur Anodenspannung gleichphasigen Wechselspannung

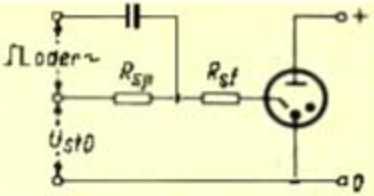


Bild 3–60 Einspeisung des Steuerimpulses bzw. der Steuerwechselspannung

Liegen an der Hauptanode *hohe* Wechselspannungen an, z. B. bei direkter Speisung der Röhre aus dem Wechselstromnetz, lassen sich Fehlzündungen durch die Benutzung einer zur Anodenspannung gleichphasigen Wechselspannung als Startervorspannung mit Sicherheit vermeiden. In **Bild 3–59** wird die Steuerung mit einer zur Anodenspannung gleichphasigen Wechselspannung vorgenommen, die einer Gleichvorspannung U_{st0} überlagert ist. Um einen möglichst kleinen Zündwinkel φ_z zu erhalten, wählt man die Amplitude der Steuerwechselspannung nicht zu klein, und/oder man läßt die Steuerspannung gegenüber der Anodenwechselspannung in der Phase *wenig* voreilen.

Bei der *Impulszündung* können die Impulse Rechteck- oder Sägezahnform besitzen. Die Dauer der Impulse, die ebenfalls meistens einer Gleichvorspannung überlagert sind, muß mindestens die Zündzeit der Hauptstrecke erreichen. Die am Starter liegende Gesamtspannung $U_{st0} + U_{imp}$ verlangt um so höhere Werte, je kürzer die Impulszeit ist. Die Einspeisung des Steuerimpulses (oder der Steuerwechselspannung) kann nach **Bild 3–60** geschehen. Der Sperrwiderstand R_{sp} verhütet das Abfließen der Steuerspannung über die Vorspannungsquelle; der Begrenzungswiderstand R_{st} ist nur dann erforderlich, wenn die Möglichkeit einer Überschreitung des höchstzulässigen Starterspitzenstromes besteht.

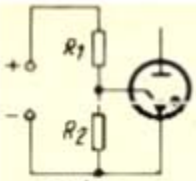


Bild 3–61
Gewinnung der Starter-Vorspannung aus einem Spannungsteiler

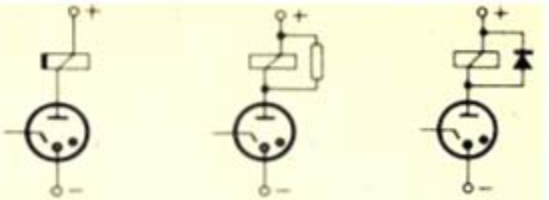


Bild 3–62 Maßnahmen zum Auffangen der induktiven Überspannungsspitze

Spezielle Steuerschaltungen, auch Steuerungsmöglichkeiten an der Katode, sind in den Schaltungsbeispielen der folgenden Abschnitte zu finden. Hier soll nur eine der meist verwendeten und zugleich einfachsten Steuergrundschaltungen angeführt sein, die in Bild 3–61 gezeichnet ist. In dieser Schaltung wird die Starterspannung einem an der Anodenspeisespannung liegenden Spannungsteiler R_1/R_2 mit einem festen und einem veränderlichen Teilwiderstand entnommen. Die Zündung der Relaisröhre erfolgt also durch eine Widerstandsänderung. Als veränderliche Widerstände stehen u. a. Fotozellen, Fotowiderstände, Ionisationskammern und temperaturabhängige Widerstände zur Verfügung. Wird ein solches Steuerelement veränderlicher Leitfähigkeit an Stelle von R_1 in Bild 3–61 eingesetzt, zündet die Relaisröhre bei abnehmendem Widerstand (bei einer Fotozelle bei Helligkeitszunahme). Nimmt das Steuerelement jedoch Platz von R_2 ein, wird die Röhre bei zunehmendem Widerstand gezündet (bei der Fotozelle also bei Helligkeitsabnahme). Ausführliche Beispiele solcher Lichtsteuerungen enthält der Abschnitt 3.2.2.5.

Der nach der Zündung der Hauptstrecke fließende Glimmstrom (Brennstrom, Katodenstrom) wird überwiegend zur Ansteuerung von *elektromechanischen Relais* benutzt. Die Auswahl des Relais für eine Schaltung richtet sich nach den Maximal- und Minimaldaten der jeweils verwendeten Relaisröhre; das Relais selbst ist elektrisch charakterisiert durch den Erregerspulenwiderstand, durch die Ansprechleistung und zulässige Dauerbelastung. Der Mindest-Relaisgleichstromwiderstand R_{Rel} errechnet sich aus der maximalen Speisespannung $U_{b\,max}$ (bei Netzspannung also Nennspannung + höchste Spannungsschwankung), der minimalen

Brennspannung der Hauptstrecke $U_{B\,min}$ und dem höchstzulässigen Katodenstrom I_k (= Röhrenstrom = Relaisstrom) nach der Gleichung

$$R_{Rel} = \frac{U_{b\,max} - U_{B\,min}}{I_k}$$

Ist kein zur Röhre passendes Relais zu finden, läßt sich die Anpassung durch Serien- oder Parallelwiderstände erzielen, allerdings mit Inkaufnahme einer Verminderung der verfügbaren Erregerleistung.

Um die beim Löschen der Entladung in der Wicklung entstehende Spannungsspitze (bedingt durch den schnellen Zusammenbruch des Magnetfeldes) aufzufangen, die u. U. eine ungewollte Neuzündung auslösen kann, verwendet man Relais mit Kurzschlußwicklung oder Kurzschlußring (Kupferrohr), oder man schaltet dem Relais einen Widerstand oder einen Gleichrichter parallel (Bild 3-62).

Bei *Wechselstrom*betrieb leitet die angesteuerte Relaisröhre in jeder positiven Halbwelle, sie arbeitet wie ein Gleichrichter und liefert einen pulsierenden Strom mit einem Gleichstrom- und einem Wechselstromanteil. Deshalb lassen sich in wechselstrombetriebenen Relaisröhrenschaltungen auch Gleichstromrelais einbauen, die aber wegen des Wechselstromanteils des Erregerstromes eine ausreichende *Abfall*verzögerung – mindestens 20 Millisekunden – aufweisen müssen. Andernfalls ist das Relais nicht in der Lage, die Strompausen zu überbrücken, und es beginnt zu flattern. Die notwendige Abfallverzögerung wird mit den in Bild 3–62 gezeigten Schaltungen erreicht. Daneben benutzt man bei Wechselstrombetrieb bei Verwendung von Relais ohne Abfallverzögerung noch die Parallelschaltung einer Kapazität

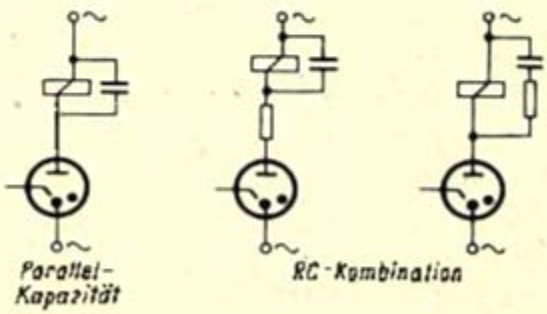


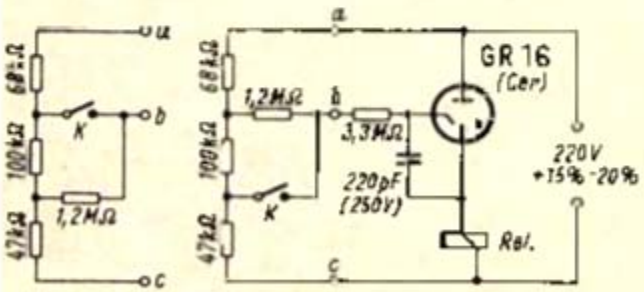
Bild 3–63 Anschaltung des Relais bei Wechselstrombetrieb

oder einer RC-Kombination zum Relais [**Bild 3–63**], wobei für die RC-Kombination zwei Schaltungsvarianten möglich sind.

3.2.2.3 Kontaktgesteuerte Schaltverstärker

In der Schaltung als kontaktgesteuerter Relaisverstärker wird die Relaisröhre durch das Schließen oder Öffnen eines empfindlichen, nur schwach belastbaren mechanischen Kontaktes angesteuert. Der ausgelöste, dem Steuerstrom gegenüber wesentlich stärkere Entladungsstrom (Glimmstrom, Brennstrom) dient dann meist zur Betätigung eines robusten elektromechanischen Relais mit Starkstromkontakten, wodurch dem Glimmstrom gegenüber eine weitere „Stromverstärkung" erzielt wird. Die Kontaktsteuerung findet an erster Stelle bei der Temperaturregelung mit Kontaktthermometern, bei der Zeigerabtastung von Meßgeräten (Maximum-Minimum-Kontakte) und bei der Mikrometerabtastung Verwendung. Kontaktgesteuerte Relaisverstärker sind auch unter dem Namen Kontaktschutzrelais bekannt.

Einen wechselstrombetriebenen Relaisverstärker mit Kontaktsteuerung zeigt **Bild 3–64**. Im linken Teil der Schaltung ist das Relais bei geschlossenem Steuerkontakt K angezogen (Arbeitsstromsteuerung), während es in der rechten Schaltung abfällt (Ruhestromsteuerung). Am geöffneten Kontakt liegen etwa 100 V~, bei geschlossenem Kontakt beläuft sich der Strom auf etwa 0,1 mA (max. 0.3 mA). Die Zuleitungen zum Kontakt dürfen keine höhere Kapazität als 500 pF aufweisen, ihr Isolationswiderstand soll einen Wert von mindestens 10 MΩ besitzen. Anstelle eines Spannungsteilers läßt sich auch ein Trenn-Transformator benutzen.



Sämtl. Widerstände 0,5W

Bild 3–64 *Relaisverstärker mit Ruhestrom- (rechts) oder Arbeitsstromsteuerung (links)*

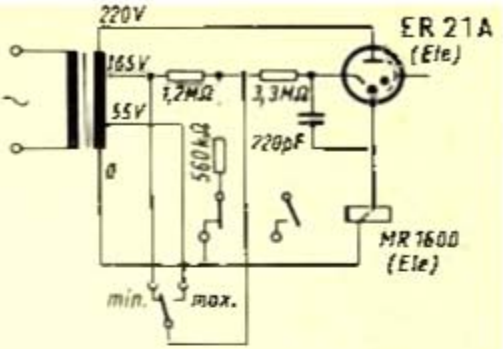


Bild 3–65 Relaisverstärker für Ansteuerung durch einen Maximum-Minimum-Kontakt

In der Relaisverstärkerschaltung mit der Röhre ER 21 A [Ele] nach **Bild 3–65** werden die Betriebsspannungen einem Transformator entnommen, die Ansteuerung erfolgt durch einen *Maximum-Minimum-Kontakt*.

Sind der am offenen Kontakt liegenden Spannung in ihrer Höhe Grenzen gesetzt, so wählt man als Relaisröhre ein gittergesteuertes *Glimm-Thyratron*, wie es in der *Kontaktschutzschaltung* in **Bild 3–66** verwendet wird. In dieser Schaltung mit der Röhre GT 21 [Cer] beträgt die Spannung über den geöffneten Kontakt nur 9 V [max. 13 V], während sich der Strom durch den Steuerkontakt auf nur 70 µA [max. 100 µA] beläuft. Vom offenen Kontakt wird ein Isolationswiderstand von mindestens 0,5 MΩ verlangt, für den Übergangswiderstand des geschlossenen Kontaktes sind max. 5 kΩ zugelassen. Der Höchstwert für die Steuerleitungs-Kapazität ist 0,05 µF. Die Schaltung nach Bild 3–66 arbeitet mit Arbeitsstromsteuerung, d. h. das Relais zieht an, wenn der Steuerkontakt schließt. Bei Ruhestromsteuerung ist die

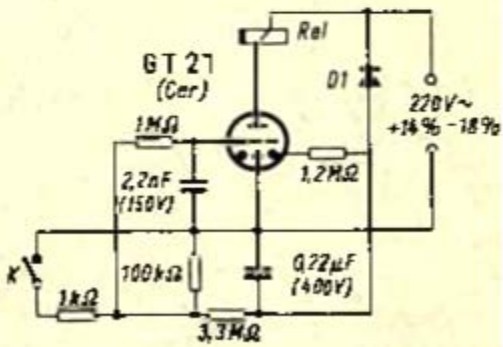


Bild 3–66 Relaisverstärker mit *Glimm-Thyratron* für niedrige Kontaktspannung. *Arbeitsstromsteuerung*. Diode D 1 = BY 100 oder SD 96 bzw. Äquivalenztypen. Widerstände ± 10 %, 0,5 W; Kondensatoren ± 10 %

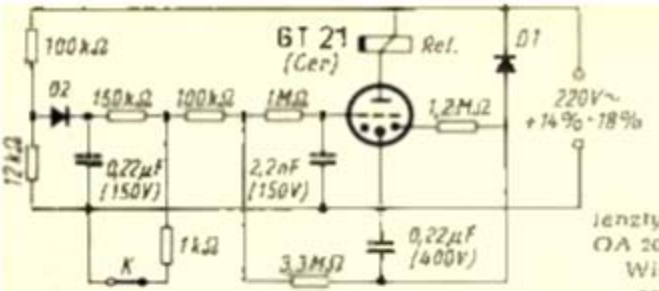


Bild 3–67 Relaisverstärker mit Glimm-Thyratron für niedrige Kontaktspannung. Ruhestromsteuerung. Diode D 1 = BY 100 oder SD 98 bzw. Äquivalenztypen. D 2 = 1 S 132 oder OA 202 bzw. Äquivalenztypen. Widerstände und Kondensatoren wie in Bild 3–66

Schaltung nach **Bild 3–67** anzuwenden, deren Steuerkreisdaten von den für Arbeitsstromsteuerung geringfügig abweichen.

Bei dem *Niveauregler* nach **Bild 3–68**, der für schwach leitfähige Schüttgüter, vorzugsweise für schwach leitende Flüssigkeiten bestimmt ist, erfolgt die Kontaktsteuerung durch in die Flüssigkeit hineinragende Elektroden. Die Relaisschaltung ist mit der Röhre GR 16 [Cer] bestückt, das Relais spricht beim *höchsten* Pegelstand der Flüssigkeit an. In der Schaltungsvariante nach **Bild 3–69** zündet die Relaisröhre, wenn die Flüssigkeit das *niedrigste* Niveau erreicht hat. Der Übergangswiderstand der Flüssigkeit zwischen den Elektroden darf 0,1 MΩ nicht überschreiten. Die Kapazität zwischen den Elektrodenzuleitungen muß < 500 pF, der Isolationswiderstand > 10 MΩ sein. Bei Auftreten von Fehlern in der Anlage (Leitungsunterbrechung, Röhrendefekt) oder bei Ausfall der Speisespannung entspricht die Stellung der Relaiskontakte in der Schaltung nach Bild 3–68 dem tiefsten und in der Schaltung nach Bild 3–69 dem höchsten Pegelstand. Davon ist nun die Schaltung auszuwählen, die bei einer

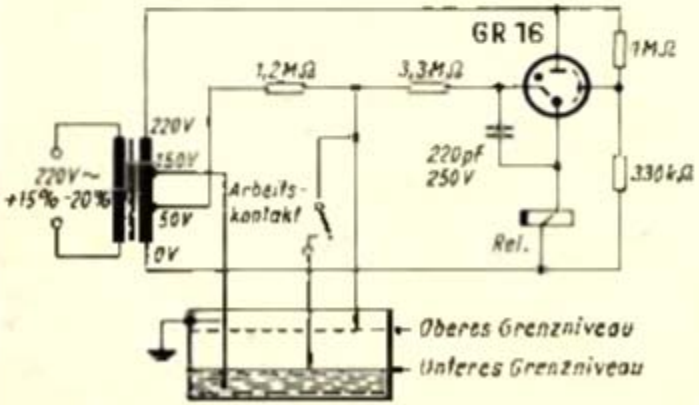


Bild 3–68 Schalterverstärker für Niveauregler. Röhre zündet bei Erreichen des höchsten Flüssigkeitsspiegels

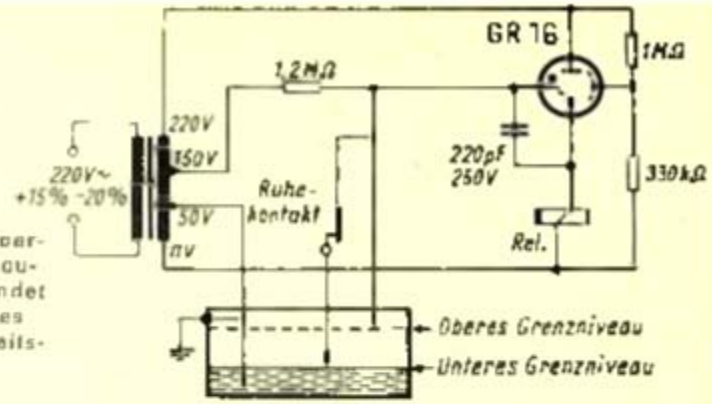


Bild 3-69 Schaltverstärker für Niveauregler. Röhre zündet bei Erreichen des tiefsten Flüssigkeitsspiegels

Betriebsstörung den kleineren Schaden hervorruft. Die in den Zeichnungen angegebenen Spannungswerte beziehen sich auf den Leerlauf des für 8 VA ausgelegten Transformators, die Widerstände sind für 0,5 W/±10 % bemessen.

3.2.2.4 Widerstandsgesteuerte Schaltverstärker

In widerstandsgesteuerten Relaisverstärkern zündet die Entladung bei Über- oder Unterschreitung eines bestimmten Wertes des steuernden Widerstandes. Die Veränderung des Widerstandswertes kann beispielsweise durch Temperaturveränderungen hervorgerufen werden, wie es bei den NTC-Widerständen (mit negativem Temperaturkoeffizienten) und bei den PTC-Widerständen (mit positivem Temperaturkoeffizienten) geschieht. Als Steuerelemente können aber auch Potentiometer oder Regel(ring)widerstände dienen, die als Meßwertwandler (Widerstandsgeber) nichtelektrischer Größen arbeiten.

Im ersten Schaltbeispiel in **Bild 3–70** ist ein wechselstrombetriebener Relaisverstärker mit einem *NTC-Widerstand* als Steuerelement gezeichnet. Der NTC-Widerstand in diesem *Zweipunkt-Temperaturregler* soll einen Kaltwiderstand von ca. 500 kΩ, einen Temperaturkoeffizienten $\geq 4\ \%/°C$ und eine Erwärmungskonstante von $\leq 3\ °C/mW$ – oder annähernde Werte – aufweisen. Die zu haltende Temperatur wird mit dem Potentiometer P eingestellt, das ungefähr den doppelten Widerstand des NTC-Elementes bei minimaler Schalttemperatur hat. Sinkt die Temperatur, verringert sich auch die Steuerspannung, die Entladung er-

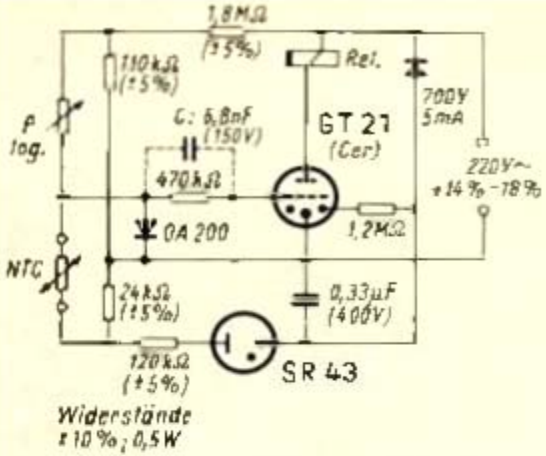


Bild 3–70 Temperaturgesteuerter Relaisverstärker mit NTC-Widerstand

lischt, und das Relais fällt ab. Soll die Schaltung mit einem Intervall zwischen Ein- und Ausschaltpunkt arbeiten, ist der Kondensator C einzufügen.

Bei der Schaltung nach **Bild 3–71** handelt es sich um einen *selbstlöschenden*, kapazitätsunempfindlichen und hochohmig steuerbaren Relaisverstärker mit *Gleichspannungs*speisung, der mit der Verbundröhre ESR 2 (Glimmpentode + zwei Stabilisierungsstrecken) bestückt ist. Von dem hochohmigen Steuerelement R_{st} wird über den Vorwiderstand R_a der am Starter liegende Kondensator C_{st} aufgeladen; die Entladung zündet, und das Relais verbindet über den Kontakt a die Stabilisatorkatode k_I mit Masse. Die Stabilisatorstrecke k_I/a_I zündet, sobald die Spannung des – über R_a' aufgeladenen – Koppelkondensators C_k die Zündspannung erreicht. Jetzt erhält die Relaisröhrenanode über C_k einen negativen Impuls, und die Hauptentladung wird gelöscht. Das Relais ist mit einer Dämpfungswicklung versehen, die die Aufgabe hat, das Relais solange zu halten, bis der über R_a und C_{st} wieder neu aufgeladene Starter die Relaisröhre von neuem zum Zünden bringen kann. Dabei gelangt über C_k ein negativer

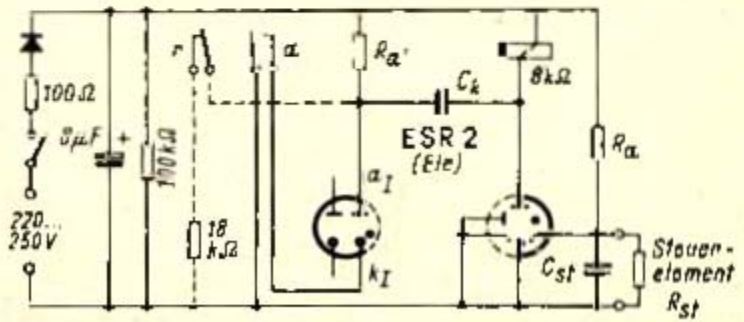


Bild 3–71 Selbstlöschender Relaisverstärker für Gleichspannungsbetrieb mit der Verbundröhre ESR 2 (Ele)

Impuls auf die Stabilisierungsstrecke und löscht sie. Der Ausgangspunkt des Schaltspiels ist somit wieder erreicht.

Nimmt der Widerstand des Steuerelementes R_{st} ab, kann der Kondensator C_{st} bei einem Widerstandswert die Starterzündspannung nicht mehr aufbringen; die Zündung der Relaisröhre unterbleibt, und das Relais fällt ab. Der Wert von R_{st}, bei dem das Relais abfallen soll, läßt sich mit R_a einstellen. Die Leitungskapazitäten sind bei dieser Schaltung mit in die Starterkapazität einbezogen, so daß die Leitungen beliebig lang sein können. Die von R_a und C_{st} bestimmte Zeitkonstante darf allerdings nicht so groß werden, daß das Relais inzwischen abfällt.

Um mit *kurzen* Steuerimpulsen *lange* Relaisimpulse zu erzielen, kann die Schaltung nach Bild 3–71 so abgewandelt werden, daß die Stabilisatoranode a) über einen zusätzlichen Relaisruhekontakt r an Masse liegt (gestrichelte Leitungsführung). Bei Beaufschlagung des Starters mit einem kurzen Steuerimpuls zündet die Relaisröhre, und das Relais trennt (durch r) die Stabilisator*anode* von Masse und schaltet (durch a) die Stabilisator*katode* an Masse. Nunmehr kann sich C_k über R_a' bis zur Zündspannung der Stabilisatorstrecke aufladen, diese zünden und zugleich mittels eines negativen Impulses über C_k die Relaisröhre löschen. Ein erneutes Zünden der Röhre kann nicht eintreten, da der kurze Steuerimpuls inzwischen abgeklungen ist. Das Relais fällt also ab. Die Dauer der Relaiserregung ist durch die Zeit-

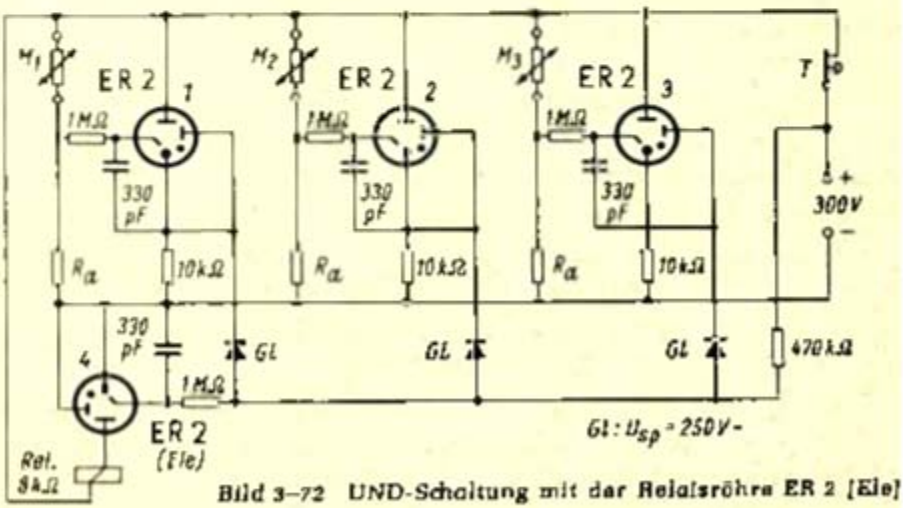


Bild 3–72 UND-Schaltung mit der Relaisröhre ER 2 (Ele)

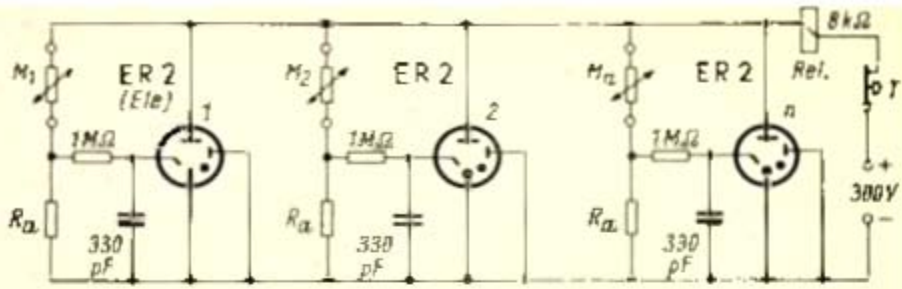


Bild 3–73 ODER-Schaltung mit der Relaisröhre ER 2 [Ele]

konstante des Gliedes $R_a \cdot C_k$ festgelegt. Zum sicheren Ansprechen des Relaisverstärkers genügt eine Impulslänge von < 1 ms.

In Prozeßsteuerungen und Automatikschaltungen besteht sehr oft die Notwendigkeit, mehrere Funktionen miteinander zu verknüpfen, beispielsweise das Einschalten einer Maschine davon abhängig zu machen, daß zuvor bestimmte zusätzliche Schaltbefehle ausgeführt wurden, oder das sofortige Abschalten einer Anlage auszulösen, sobald irgendeine Betriebsbedingung nicht eingehalten wird. Solche Verknüpfungen ermöglichen die UND- und ODER-Schaltungen.

Eine mit Relaisröhren vom Typ ER 2 [Ele] bestückte *UND-Verknüpfung* stellt die Schaltung in **Bild 3–72** dar. Die untere Röhre 4 kann erst dann zünden und das Relais betätigen, wenn Röhre 1 und Röhre 2 und Röhre 3 (und Röhre n) brennen. Hat eine der Röhren noch nicht gezündet, fließt die positive Starterspannung für Röhre 4 über den Gleichrichter Gl und den Katodenwiderstand ab, und Röhre 4 kann nicht zünden. Die Rückstellung geschieht durch kurzes Betätigen der Taste T. Anstelle mit nur drei Röhren läßt sich die Schaltung auch mit einer größeren Röhrenzahl betreiben.

Die Schaltung **Bild 3–73**, die aus beliebig vielen Röhren bestehen kann, ist eine *ODER-Verknüpfung*. Das Relais zieht hier bereits an, sobald auch nur eine einzige Röhre gezündet hat, ganz gleich, ob das die Röhre 1 *oder* die Röhre 2 oder die Röhre 3 (*oder* Röhre n) ist. Nach der Zündung irgendeiner Röhre verhindert der durch den Entladestrom im Relais entstehende Spannungsabfall die Zündung jeder weiteren Röhre. Die Rückstellung

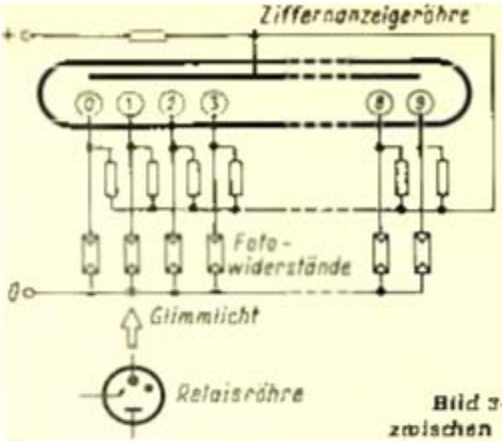


Bild 3–74 Fotoelektronische Kopplung zwischen Relaisröhre und Ziffernanzeigeröhre

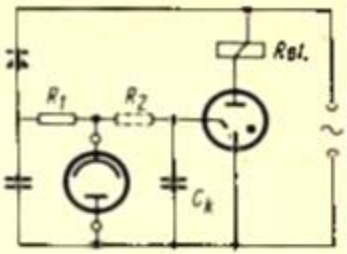


Bild 3–75 Fotozellen-Relaisverstärker, Prinzipschaltung

erfolgt auch in dieser Schaltung durch kurze Unterbrechung der Speisespannung durch die Taste T.

In beiden Verknüpfungsschaltungen sind die Steuerelemente als sich stetig selbstverstellende Widerstände (Meßwertgeber M_1, M_2, M_3) gezeichnet, doch können anstelle dieser Widerstände auch einfache Schaltkontakte, Grenzwertmelder, Temperaturfühler, Fotozellen, Fotohalbleiter und andere Steuerglieder treten.

Der Schaltzustand der Verknüpfungen ist durch das Glimmlicht der gezündeten Röhren zu erkennen. Wird eine zweite Anzeige oder eine Fernanzeige des Betriebszustandes verlangt, läßt sich diese ohne Eingriffe in die Schaltung am leichtesten durch eine *fotoelektrische Kopplung* zwischen den Relaisröhren und einer Anzeigeröhrenschaltung vornehmen. Zu diesem Zweck erhält jede Relaisröhre einen Fotowiderstand zugeordnet, der vom Glimmlicht der brennenden Entladung beleuchtet wird und in der ODER-Funktionsschaltung mit der entsprechenden Katode einer *Ziffernanzeigeröhre* verbunden ist [**Bild 3–74**]. Für die UND-Schaltung, bei der mehrere Relaisröhren gleichzeitig brennen können, ist die Anzeige natürlich nur mit *einzelnen* Anzeigeröhren (Signalglimmlampen) möglich.

3.2.2.5 Lichtgesteuerte Schaltverstärker

Lichtgesteuerte Relaisverstärker verwenden als Steuerelemente *Fotozellen* und *Fotohalbleiter*. Bei beiden Bauelementen verändert sich deren Widerstand mit der auf sie einfallenden Be-

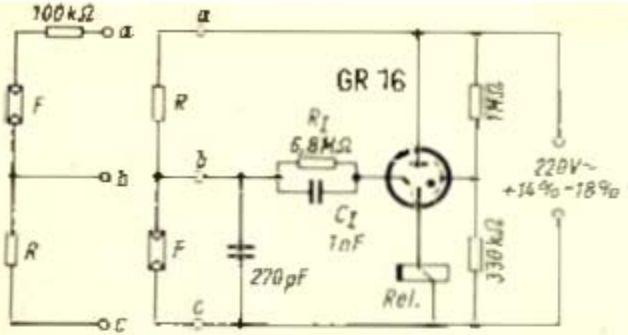


Bild 3–75 Lichtgesteuertes Relais mit Fotowiderstand (Kondensatoren ± 10 %, 400 V, Widerstände ± 10 %, 0,5 W)

leuchtungsstärke. Mit steigender Beleuchtung nimmt der Widerstand ab und bei Verdunklung zu. Somit gehören die lichtgesteuerten Relaisverstärker grundsätzlich mit zur Gruppe der widerstandsgesteuerten Schaltverstärker, und alle im vorangegangenen Abschnitt angeführten Schaltungsvorschläge lassen sich nach Austausch der z. B. temperaturabhängigen Widerstände gegen beleuchtungsabhängige Steuerelemente prinzipiell auch für Lichtsteuerungen einsetzen.

Während früher die Fotozelle dominierte, ist es heute der Fotohalbleiter, bevorzugt der Fotowiderstand und die Fotodiode, seltener der Fototransistor. Für Lichtsteuerungen mit Schaltfrequenzen von einigen Hz ist der robuste Fotowiderstand das gegebene Steuerelement; Cadmiumsulfid-Widerstände sind für 2 bis 3 Schaltungen/s geeignet, während sich die Cadmiumselenid-Typen bis zu 4 bis 5 Schaltungen/s verwenden lassen. Für höhere Schaltfrequenzen stehen die Fotodioden [Grenzfrequenz bis $10^4 \ldots 10^5$ Hz] und für noch höhere Lichtmodulationsfrequenzen [bis 10^8 Hz] die Vakuum-Fotozellen zur Verfügung.

Eine Grundschaltung für einen *fotozellengesteuerten Relaisverstärker* mit Kippsteuerung gibt **Bild 3–75** wieder. Hier spricht das Relais bei Verdunkelung der Zelle an; der Schaltpunkt wird mit dem Widerstand R_1 eingestellt, der mit der Fotozelle einen Spannungsteiler bildet. Soll die Relaisröhre bei Belichtung der Fotozelle zünden, sind Zelle und Einstellwiderstand R_1 zu vertauschen. Da in diesem Fall der Fotozellen-Arbeitswiderstand nach der Zündung der Starterstrecke seine Wirkung verliert, ist zur Begrenzung des Fotozellenstromes der in der Zeichnung gestrichelte Schutzwiderstand R_2 einzufügen.

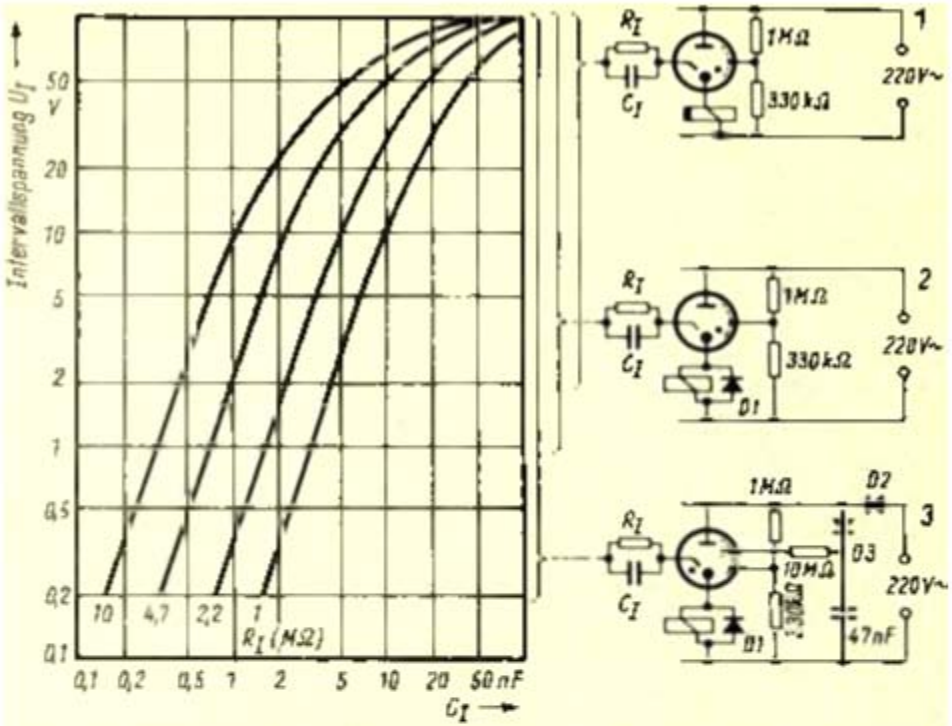


Bild 3–77 Zur Bestimmung des Schaltintervalles. D 1 = Diode 25 mA, Spitzensperrspannung 300 V; D 2 = Diode 50 mA, Spitzensperrspannung 400 V; D 3 = Diode 1 mA, Spitzensperrspannung 400 V; Kondensatoren ± 10 %, 400 V; Widerstände ± 10 %, 0,5 W

Eine von einem Fotowiderstand gesteuerte Glimmrelaisschaltung mit der Röhre GR 16 [Cer] für langsam verlaufende Helligkeitsschwankungen ist in **Bild 3–76** dargestellt. Sie arbeitet mit einer *Intervallspannung* und gewährleistet durch das Auseinandersetzen des Einschalt- und des Ausschaltpunktes der Steuerspannung ein exaktes Schalten. In der gezeichneten Dunkelschaltung fällt das Relais bei einem bestimmten durch den Fotowiderstand fließenden (von der Beleuchtung bestimmten) Strom ab und zieht bei kleinerem Lichtstrom wieder an. Wird Hellschaltung gewünscht, sind Fotowiderstand und Arbeitswiderstand (R) zu vertauschen (linker Schaltungsteil). Dann zieht das Relais bei einem bestimmten Fotowiderstandsstrom an und fällt bei kleinerem Lichtstrom ab. Als Fotowiderstand für diese Schaltung eignen sich Typen für $U = 220\,V_{\sim}$ und $P > 30\,mW$, der

Wert des Arbeitswiderstandes R richtet sich nach dem gewählten Fotowiderstand und liegt etwa zwischen 0,47 und 2,7 MΩ.

Die *Intervallspannung* U_I ergibt sich aus dem Produkt $R_I \cdot C_I$ (**Bild 3–77**), je nach der vorhergesehenen *minimalen* Intervallspannung wird zweckmäßig eine der drei Schaltungen benutzt. In Schaltung 1 setzt sich der Intervallspannungsbereich aus dem Kurvenwert (2 bis 70 V, bestimmt durch $R_I C_I$) + Intervallanteil des Relais zusammen, der einige Volt beträgt. In der Schaltung 2 für einen U_I-Bereich von etwa 1 bis 70 V ist dem Relais zwecks Abfallverzögerung eine Diode parallel zu schalten. Im Intervallspannungsbereich von ca. 0,2 bis 70 V empfiehlt sich als zusätzliche Maßnahme, die Hilfsanode der GR 16 anzuschließen. Die Intervallspannung ist entsprechend den Werten für R_I und C_I dem Kurvenbild zu entnehmen, sie wird geringfügig von der Netzspannung und vom Relais beeinflußt.

Die Lichtsteuerung in **Bild 3–78** ist mit der Subminiaturröhre ER 32 A [Ele] bestückt und eignet sich daher besonders für den Aufbau auf geringstem Raum, beispielsweise auf gedruckten Leiterplatten. Als Steuerelement wird ein Fotowiderstand auf CdSe-Basis (z. B. Clairex CL 603) oder auf CdS-Basis (z. B. Riesta EP 1 A oder Valvo ORP 62) eingesetzt, der erste läßt 4 bis 5 Schaltungen/s zu, die letzten ermöglichen 1 oder 2 Schaltungen/s. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß die Röhre bei verdunkeltem Fotowiderstand in jeder Halbwelle (100 Halbwellen/s)

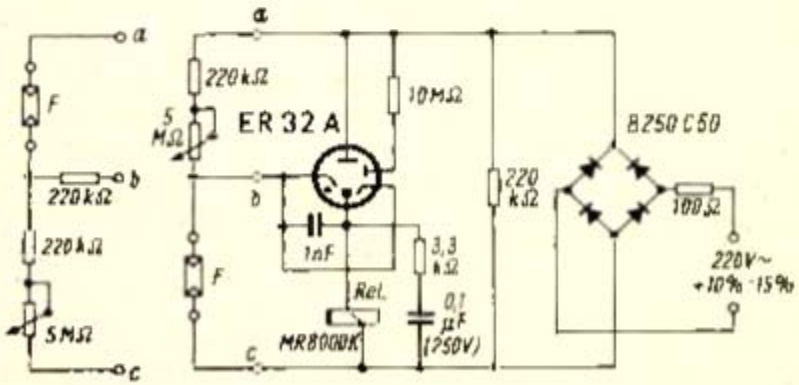


Bild 3–78 Lichtrelaisschaltung mit Subminiaturröhre (Netzbetrieb mit 100 Halbwellen/s)

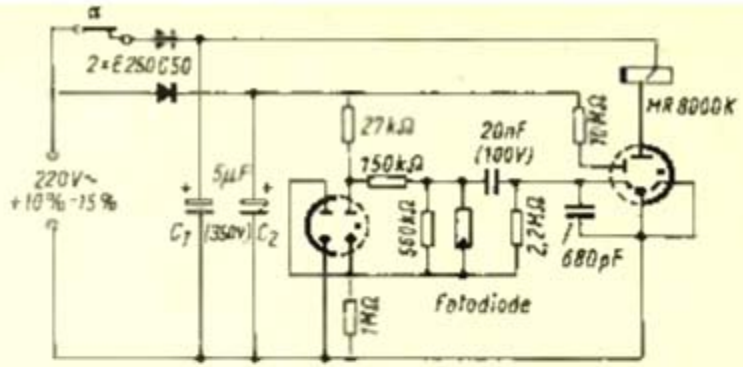


Bild 3-79 Lichtsteuerschaltung mit Fotodiode und Verbundröhre ESR 2 (Ele) für sehr kurze Ansprechzeiten

zündet und das Relais anzieht. Wird ein Relaisanzug bei beleuchtetem Fotowiderstand verlangt, gilt der linke Eingangsteil.

Im letzten Beispiel nach **Bild 3–79** ist das Steuerelement eine Fotodiode (z. B. SEL PG 50 A oder Siemens TP 50), die wesentlich kürzere Ansprechzeiten zuläßt. Als Relaisröhre fungiert der Gleichspannungs-Verbundtyp ESR 2 (Ele), dessen Stabilisatorstrecken zur Stabilisierung der Starterspannung und der Speisespannung für die Fotodiode herangezogen werden. Der bei Verdunklung der Diode auftretende Spannungsanstieg wird dem Starter *kapazitiv* zugeführt und bringt die Röhre zum Zünden; das Relais spricht an und öffnet den Kontakt a, der dann die Speisespannung für Röhre und Relais unterbricht und das Relais – verzögert durch C_1 – abfallen läßt. Diese Schaltung spricht auf sehr kurze Lichtunterbrechungen sicher an und liefert einen ausreichend langen Ausgangsimpuls für die vorgesehene Schaltfunktion (z. B. für einen elektromechanischen Zähler). Die kürzeste Lichtunterbrechung kann < 2 ms sein, die kürzeste Pause zwischen zwei Verdunklungen (abhängig vom Relais und Verzögerungskondensator) kann etwa 140 ms betragen, doch muß für ein sicheres Ansprechen die Verdunklung der Fotodiode innerhalb von etwa 10 ms erfolgen.

Lichtgesteuerte Relaisverstärker finden hauptsächlich in Lichtschranken, lichtgesteuerten Zählern, Lichtschaltern, Dämmerungsschaltern, Trübungsmessern und Rauchmeldern Verwendung. Als neues Anwendungsgebiet sind die „Flammenwächter" dazu-

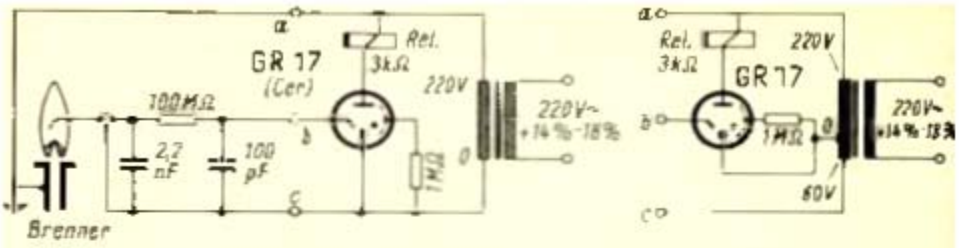


Bild 3–80 *Ionisations-Flammenwächter mit der GR 17 (Cer). Links für höhere Steuerströme (> 10 µA), rechts für kleinere Steuerströme (< 10 µA)*

gekommen. Das sind Einrichtungen zur *Flammenüberwachung* von Öl- und Gasbrennern, die beim Erlöschen der Flamme die Brennstoffzufuhr sperren. Diesen Sicherheitseinrichtungen kommt heute eine sehr große Bedeutung zu, die Anforderungen, die sie erfüllen müssen, sind in den Sicherheitsvorschriften für Gas- und Ölfeuerungsanlagen niedergelegt. Hier interessieren natürlich nur die Grundschaltungen, und auch die nur soweit sie mit Kaltkatoden-Relaisröhren arbeiten.

Im einfachsten Fall erfolgt die Flammenkontrolle nach dem *Ionisationsverfahren* mit Flammensonde. Hierbei wird der Gleichrichtereffekt von Gasflammen ausgenutzt und der beim Anlegen einer Wechselspannung zwischen Brenner und Flammensonde entstehende Sonden(gleich)strom zur Ansteuerung der Relaisröhre benutzt (**Bild 3–80**). Der Sondenstrom lädt den 2200-pF-Kondensator bis zur Starterzündspannung auf, die Relaisröhre zündet, und das Relais zieht an. Bei großen Flammen wird der Sondenstrom (etwa ab 10 µA) zur Aufladung des Kondensators fast immer ausreichen, bei kleinen Flammen und entsprechend niedrigeren Sondenströmen (< 10 µA) arbeitet man mit einer dem Netztransformator entnommenen Hilfsvorspannung (Bild 3–80 rechts), welche die Ansprechempfindlichkeit der Schaltung erhöht. Verlöscht die Flamme, bleibt der Sondenstrom aus, der Kondensator entlädt sich über die brennende Röhre, das Relais fällt ab und unterbricht die weitere Brennstoffzufuhr.

Statt Flammensonden können als Flammenindikatoren auch Fotozellen dienen, die auf die von der Flamme emittierte Strahlung ansprechen. Damit aber hier trotz ausgelöschter Flamme durch die nachglühenden und heißen (infrarotstrahlenden) Brenn-

kammerwände kein Weiterbrennen der Flamme vorgetäuscht wird, kommen als Indikatoren *ultraviolett*-empfindliche Anzeigeelemente zur Verwendung. Diese sprechen nur auf den hohen UV-Anteil der Flammenstrahlung an, nicht aber auf die nachglühende oder heiße Brennkammerverkleidung.

UV-Indikatoren sind *Glimmdioden* in einem UV-durchlässigen Glaskolben, deren Elektroden aus zwei gleichgeformten Drahtschleifen bestehen (**Bild 3–81**). Die spektrale Empfindlichkeit der Röhren, die als UV-Schaltröhren, UV-Schaltzellen, UV-Glimmzündzellen und – seltener – als UV-Fotozellen bezeichnet werden, liegt je nach Typ und Hersteller etwa zwischen 190 und 300 nm mit einem Empfindlichkeitsmaximum bei 215 bis 225 nm. Die Röhren lassen sich mit einer Gleich- oder Wechselspannung von 220 V betreiben und zünden, sobald eine UV-Strahlung auf den Entladungsraum einwirkt. Mit dem Zündeinsatz fällt die an der Röhre liegende Spannung auf die niedrigere Brennspannung (zwischen etwa 180 und 210 V) ab. Der Brennstrom (Entladungs-

Bild 3–81 Elektrodenanordnung in der UV-Glimmzündzelle GZ 200 (Hei). Allglasausführung mit Zweistift-Spezialsockel

strom) hat dabei einen Wert von einigen mA. Unterschreitet die an den Elektroden stehende Spannung die Brennspannung, erlischt die Entladung, und die Röhre sperrt. Die Folgefrequenz der Zündung steigt mit der Intensität der UV-Strahlung, sie kann jedoch nicht höher liegen als die doppelte Frequenz der Betriebswechselspannung. Bei Betrieb der UV-Zelle mit Wechselspannung oder ungeglätteter pulsierender Gleichspannung sind keine zusätzlichen Löschschaltungen erforderlich, da die Entladung in jeder Halbwelle mit dem Unterschreiten der Brennspannung bzw. des Brennstromes von allein zum Erlöschen kommt. Die Lebensdauer der sehr betriebssicher arbeitenden UV-Schaltröhren hängt vom gleichgerichteten, arithmetischen Mittelwert und vom Spitzenwert des Röhrenstromes ab, ferner aber auch in einem sehr

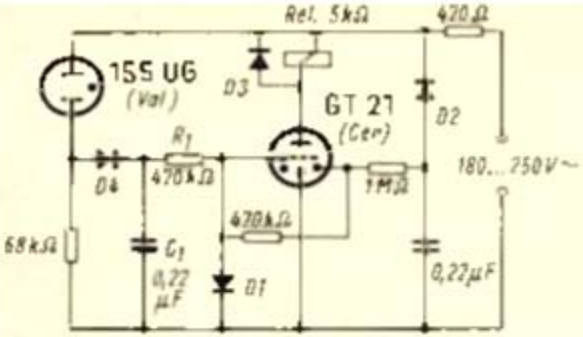


Bild 3–82 Flammenüberwachung mit UV-Zelle 155 UG und Relaisröhre GT 21 mit Integrationsglied im Gitterkreis. D 1, D 4: OA 202 oder 2 E 2; D 2: BY 100 oder 2 E 8; D 3: BY 100 oder 2 E 4; Widerstände: ± 10 %, 0,5 W; Kondensatoren: ± 20 %

hohen Maße von der Kolbentemperatur, die deshalb möglichst niedrig zu halten ist. Bei Kolbentemperaturen $< 50\,^{\circ}C$ ist eine Lebensdauer von mindestens 10 000 Stunden zu erwarten.

Die Anschaltung der UV-Zellen als Steuerelement einer Glimmrelaisschaltung ist sehr einfach und verlangt minimalen Aufwand. Um auch bei geringer UV-Strahlungsintensität und entsprechend langsamer Steuerimpulsfolge eine ausreichend hohe kontinuierliche Steuerspannung zu gewinnen, werden die Impulse in einer im Verstärkereingang liegenden RC-Schaltung integriert. **Bild 3–82** gibt die Prinzipschaltung eines Flammenwächters wieder, der mit der Schaltzelle 155 UG [Val] als UV-Indikator und einem Glimm-Thyratron GT 21 [Cer] arbeitet. Die Röhre liegt hier direkt an Wechselspannung, so daß im Integrationsglied [im Gitterkreis des Glimm-Thyratrons] lediglich die Zündimpulse der positiven Halbwelle – maximal 50 Imp/s – ausgewertet werden. Die Zeitkonstante der Integration ergibt sich aus dem Produkt $R_1 \cdot C_1$. Erfolgt der Betrieb der Schaltzelle 155 UG jedoch aus einem Zweiweggleichrichter mit ungeglätteter Spannung, so verarbeitet das Integrationsglied sämtliche Zündimpulse, also maximal 100 Imp/s. Auch in diesem Fall bestimmt das Produkt $R_1 \cdot C_1$ die Zeitkonstante.

Von einer Flammenüberwachungsschaltung wird nicht nur sofortiges Ansprechen des Relais beim Verlöschen der Flamme verlangt, sondern darüber hinaus noch die Ausschaltung aller Fehler, die durch Kurzschluß oder Defekt eines Bauteiles oder durch Netzausfall auftreten können. Die Schaltung muß *eigensicher* sein und sich selbst überwachen.

Von den zahlreichen Schaltungsvarianten kann an dieser Stelle lediglich ein kurzschlußsicherer Lichtempfänger (**Bild 3–83**) als Beispiel Erwähnung finden. Durch die Einfügung der Diode D 1 zündet die Schaltzelle 155 UG bei UV-Bestrahlung nur in den positiven Halbwellen der Speisewechselspannung, und am Lastwiderstand treten positive Steuerimpulse auf, die über die 1000-pF-Kapazität zum Gitter des Glimm-Thyratrons GT 21 gelangen. Die Röhre zündet, und das Relais zieht an. Entsteht jetzt ein Kurzschluß in der Verbindungsleitung, so erscheinen am Lastwiderstand positive und negative Steuerimpulse, von denen die negativen Impulse über die Diode D 3 den 0,15-µF-Kondensator auf eine negative Spannung bringen, mit der über den 680-kΩ-Widerstand das Gitter der GT 21 beaufschlagt wird. Die Schaltung ist nun so bemessen, daß die negativen Signale wegen ihrer größeren Amplitude die positiven Steuerimpulse aufheben, womit das Glimm-Thyratron gesperrt ist und das Relais abfällt.

Noch höhere Betriebssicherheit bieten die Schaltungen, in denen jede Schaltungskomponente kurzgeschlossen (ausgenommen die UV-Zelle) oder unterbrochen werden kann, ohne daß ein fehlerhaftes Ansprechen des Relais erfolgt.

Bei einigen UV-Glimmdioden kann im Verlauf der Alterung, vor allem gegen Ende der Lebensdauer, eine Zündung gelegentlich auch ohne UV-Belichtung eintreten. Dieses „Freilaufen" der

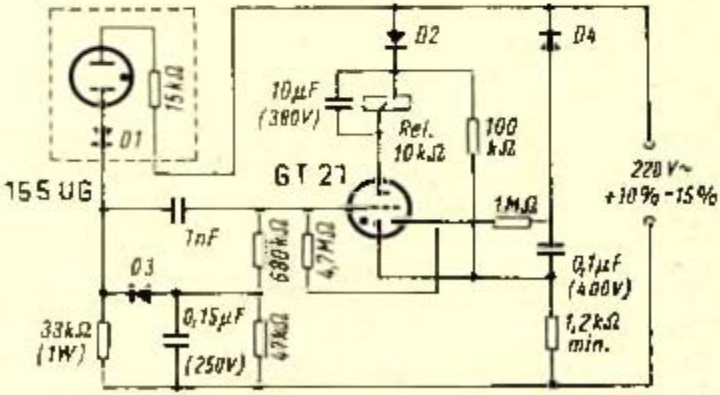


Bild 3–83 Schaltung mit kurzschlußsicherem UV-Lichtempfänger. D 1, D 2, D 3: BY 100 oder 2 E 4; D 4: BY 100 oder 2 E 8; Widerstände: ± 10 %, 0,5 W; Kondensatoren: ± 20 %

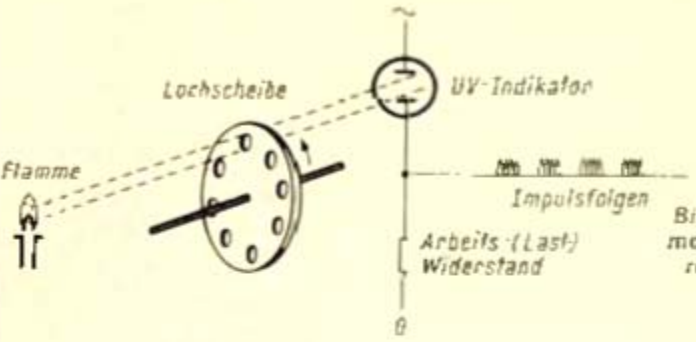


Bild 3-84 Flammenmodulation mit rotierender Lochscheibe

Zelle täuscht eine brennende Flamme vor und erfordert Schutzmaßnahmen. Davon ausgehend, daß die Wahrscheinlichkeit für das *gleichzeitige* Freilaufen von zwei Röhren äußerst gering ist, werden zwei UV-Schaltdioden verwendet, die gemeinsam in einem Lichtempfänger oder einzeln in getrennten Gehäusen untergebracht sind. Die Glimmdioden sind dabei mit ihren Schaltungskreisen durch UND- oder ODER-Gatter miteinander verkoppelt. Vor der ersten Zündung der Brennerflamme werden zunächst die beiden UV-Indikatoren kontrolliert, die in einer ODER-Diodenschaltung ihre Steuerimpulse an eine Relaisröhre weitergeben. Das von dieser Röhre angesteuerte Relais bleibt bei intakten Indikatoren offen. Mit dem Zünden des Brenners setzt dann die eigentliche Flammenüberwachung ein, bei der beide Röhren in einer UND-Diodenschaltung eine Relaisröhre ansteuern und diese wieder im gezündeten Zustand ein Relais erregt. Verlöscht die Flamme und sperrt dabei wenigstens eine der beiden UV-Schaltzellen, fällt das Relais ab.

Eine weitere Sicherungsmaßnahme gegen das Freilaufen ist die *Flammenmodulation* mit Hilfe einer zwischen Brennerflamme und UV-Zelle eingefügten rotierenden Lochscheibe (**Bild 3–84**), so daß die UV-Indikatorröhre mit Wechsellicht bestrahlt wird. Solange die Zelle ordnungsmäßig arbeitet, treten am Lastwiderstand aufeinanderfolgende Impulsperioden auf, die durch Pausen getrennt sind. Sobald die UV-Diode jedoch freiläuft, verliert die Lochscheibe ihre Wirkung als Lichtmodulator, und am Arbeitswiderstand erscheint jetzt eine kontinuierliche – pausenlose – Impulsfolge.

3.2.2.6 Kapazitiv und induktiv gesteuerte Schaltverstärker

Bei der kapazitiven und induktiven Ansteuerung von Relaisröhren, meist als Grenzwert-, Annäherungs- oder Berührungsschalter, kommen als Steuerelemente überwiegend Meßwertaufnehmer in Betracht, die nichtelektrische Größen in Kapazitäts- bzw. Induktivitätsänderungen umsetzen. Diese lassen sich u. a. mit Hilfe von Spannungsteilerschaltungen in Spannungsschwankungen umwandeln, die dann ihrerseits die Ansteuerung der Relaisröhre übernehmen. Die Induktivitäts- oder Kapazitätsvariationen können aber auch auf ein Integrationsglied der Relaisröhrenschaltung einwirken, dessen Zeitkonstante sie ändern, um so zur Zündung oder Nichtzündung einer Röhre zu führen. Hauptsächlich findet das letzte Verfahren (in verschiedenen Schaltungsvarianten) Anwendung. Das Schaltungsprinzip für eine kapazitive Ansteuerung, das mit geringfügigen Abänderungen auch für induktive Ansteuerung gilt, zeigt **Bild 3–85**.

Von der angelegten Wechselspannung wird eine Halbwelle gleichgerichtet, die die Integrierglieder $(R_1 + R_4)/C_1$ und $(R_2 + R_3)/(C_2 + C_M)$ speist. C_M ist der kapazitive Meßwertgeber. Die Kondensatoren C_1 und C_2 werden während der positiven Halbwelle über die zugehörigen Widerstände solange aufgeladen, bis bei einer der beiden Relaisröhren deren Starterzündspannung erreicht ist. Die betreffende Röhre zündet, und die Anodenspannung fällt auf die Brennspannung ab, die kleiner ist als die Starterzündspannung der anderen Röhre, so daß diese nicht mehr zünden kann. Welche der beiden Röhren zündet, bestimmt – neben der Starterzündspannung – die Zeitkonstante des Integrationsgliedes. Es zündet stets die Röhre zuerst, deren Integrierglied die kleinere Zeitkonstante hat, d. h. bei der die Starterzündspannung zeitlich zuerst erreicht wird. Unter der Annahme, daß die Zeitkonstante τ_1 des Integriergliedes $(R_1 + R_4)\,C_1$

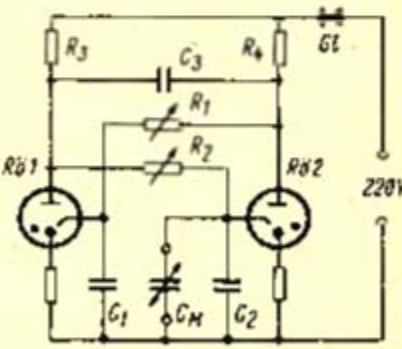


Bild 3–85 Prinzipschaltung zur Anzeige einer Kapazitätsänderung mit Benutzung einer Integrierschaltung

größer ist als die Zeitkonstante τ_2 des Integriergliedes $(R_2 + R_3)\ (C_2 + C_M)$, wird also zuerst Rö 2 zünden. Vergrößert dann aber der Meßwertgeber seine Kapazität C_M, steigt τ_2 gegenüber τ_1 an, und es zündet Rö 1, während Rö 2 erlischt. Nimmt C_M dann wieder ab, vertauschen sich die Rollen, τ_1 ist jetzt wieder größer als τ_2, und es wird Rö 2 erneut zünden und Rö 1 verlöschen.

Der Kopplungskondensator C_3 hat in der Schaltung die Aufgabe, bei nur geringfügigem Unterschied der Zündzeitpunkte das beidseitige Zünden der Relaisröhren zu vermeiden. Gleichzeitig sorgt C_3 in Verbindung mit R_3 und R_4 für das Zustandekommen eines Schaltintervalles mit der Zeitkonstanten $(R_3 + R_4)\ C_3$.

Für den praktischen Aufbau der Schaltung nach Bild 3–85 sind in der nachstehenden **Tabelle** für verschiedene Röhren die wichtigsten Daten zusammengestellt.

Röhrentypen (Cer)	GR 15	GR 16	GR 31	
Anodenspeisespannung, min. – max.	150...270	250...350	220...350	V
Netzspannung (+ 14 % – 18 %)	167	220	220	V_{eff}
Katodenstrom, lin. Mittelwert	5...20	10...40	5...20	mA
C_1, C_2 min.	50	200	200	pF
τ_3 min.	3,9	2,8	2,8	ms
Starterzündspannung, min. – max.	120...140	120...140	125...140	V
Einstellbereich τ_1, τ_2 für min. Phasenanschnitt	1,3...1,7	2,8...3,7	1,8...1,9	ms
Einstellbereich τ_1, τ_2 für max. Phasenanschnitt [90°]	2,2...3,0	3,7...4,7	3,7...4,5	ms
Phasenanschnittwinkel, min.	70°	80°	60°	

Zeitkonstante $\tau_1 = (R_4 + R_1)\ C_1$; $\tau_2 = (R_3 + R_2)\ (C_2 + C_M)$;
$\tau_3 = (R_3 + R_4)\ C_3$

τ_3 ist mindestens so groß zu wählen, daß die Spannung über C_3 zur Zeit der nächsten Starterzündung größer ist als die zu erwartenden Starterzündspannungs-Variationen (etwa ± 2 V), entsprechend einem Schaltintervall von $\pm\ 0{,}02 \cdot \tau_1$ (bzw. τ_2). Die geringe Abhängigkeit des Schaltintervalls von der Netzspannung beträgt bei max. Unterspannung ± 2 % und bei max. Überspannung ± 6 %. – Der Isolationswiderstand des Starterkreises muß mindestens 100mal größer sein als die Widerstände R_1 bzw. R_2.

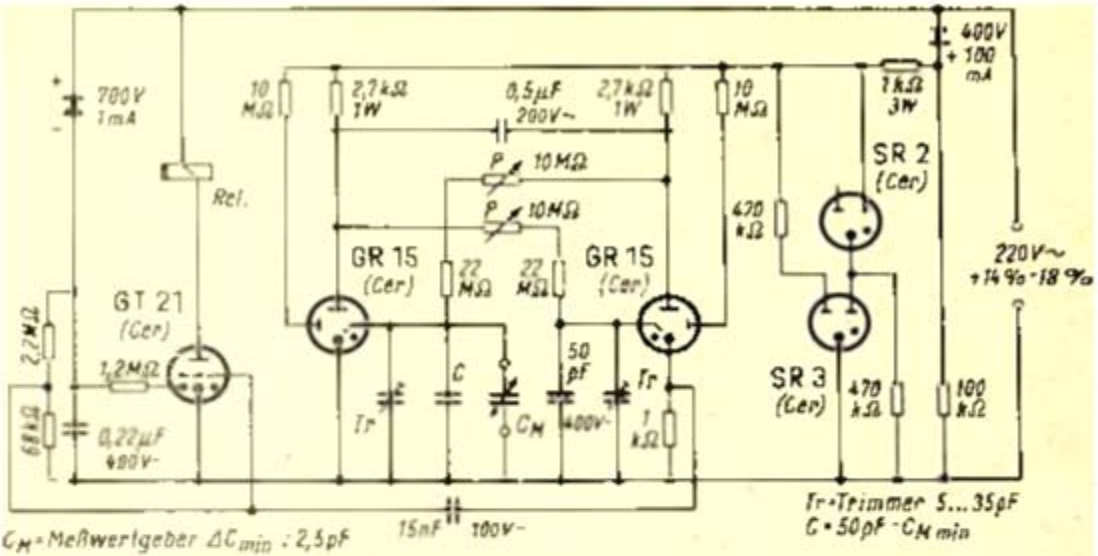


Bild 3–86 Kapazitiver Grenzwertschalter hoher Empfindlichkeit. Widerstände: 0,5 W; < 10 MΩ: ± 10 %, ≥ 10 MΩ: + 20 % / − 30 %

Als weiteres praktisches Beispiel ist in **Bild 3–86** noch ein sehr empfindlicher *kapazitiver Grenzwertschalter* angegeben, der im Aufbau prinzipiell der Grundschaltung nach Bild 3–85 gleicht. Abweichend wird das Relais aus einer zusätzlichen Röhre GT 21 gespeist, um ein durch das ständige Umladen des 0,5-µF-Koppelkondensators eventuell auftretendes Vibrieren des Relais auszuschließen. Außerdem wurde die Netzspannung mit den Röhren SR 2 und SR 3 stabilisiert, damit ein möglichst kleines und konstantes Schallintervall ($\Delta C_M \approx 2{,}5$ pF) erhalten wird.

Als einbaufertiger kapazitiver Berührungsschalter präsentiert sich der *„Elektronische Druckknopf"* GK 11 [Cer], dessen Kurzbeschreibung auf Seite 36 zu finden ist. Nach **Bild 3–87** liegt zwischen Anode und Katode (der Hauptentladungsstrecke) die Anodengleichspannung U_{a0} = (Speisespannung) und zwischen Katode und Erde die Steuerwechselspannung $U_{st\sim}$. Die Anodengleichspannung U_{a0} muß dabei kleiner sein als die Zündspannung U_{aZ} und größer als die Brennspannung U_{aB} der Hauptentladungsstrecke. Bei Berühren der Außensteuerelektrode S fließt ein Steuerstrom I_{st}, der die Zündübernahmespannung U_{aZ} der Hauptstrecke herabsetzt, bis bei einem bestimmten Wert dieses Steuer-

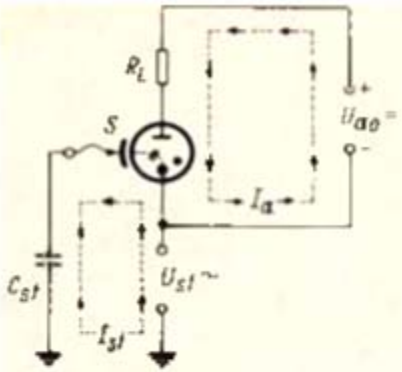


Bild 3–87 *Prinzipschaltung für den Elektronischen Druckknopf. S = Steuerelektrode (Außenelektrode); C_{st} = Steuerkapazität; R_L = Lastwiderstand (Relais)*

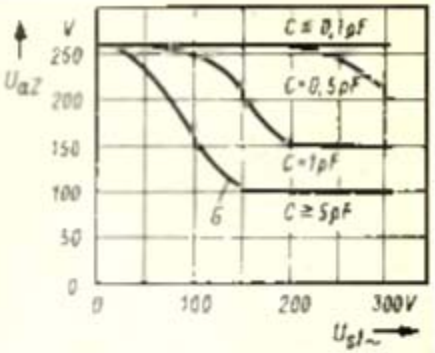


Bild 3–88 *Steuerkennlinien für Kapazitätssteuerung. $U_{aZ} = f(U_{st\sim})$. C = Parameter, G = Grenzzündkennlinie*

stromes die Zündübernahmespannung U_{aZ} kleiner wird als die Anodengleichspannung U_{a0} und die Entladung zündet. Dabei kommt der EIN-Zustand der Röhre durch das Katodenglimmlicht optisch zur Anzeige. Der nach der Zündung fließende Anodenstrom liegt zwischen 8 und 15 mA und reicht in den meisten Fällen zur Ansteuerung eines Relais aus.

Die Steuerkennlinien in **Bild 3–88** lassen die Wechselbeziehungen zwischen Steuerwechselspannung $U_{st\sim}$ und Zündspannung (Zündübernahmespannung) U_{aZ} erkennen. Die 5-pF-Kurve bildet die Grenzkennlinie G. Für größere C-Werte findet keine Kurvenverschiebung mehr statt. Praktisch übersteigen die Steuerkapazitäten fast immer den 5-pF-Wert, selbst dann, wenn die Berührung der Steuerelektrode mit Handschuhen erfolgen sollte.

Zwecks Abschirmung der Röhre gegen elektrische Störfelder ist die GK 11 in einen Metallzylinder einzusetzen, der über einen 1-MΩ-Widerstand mit der Katodenleitung verbunden wird. In *montagefertiger* Ausführung steht der *Einbau*-Druckknopf GKF 11 [Cer] in Form einer Polyäthylen-Fassung mit eingebauter GK 11 und Abschirmung zur Verfügung (**Bild 3–89**).

Zur Löschung der Entladung ist – wie bei allen Gasentladungsröhren – die Anodenspannung entweder kurzzeitig zu unterbrechen oder kurzzeitig bis unter die Brennspannung abzusenken. Im ersten Fall wird im Anodenkreis eine *Löschtaste* vor-

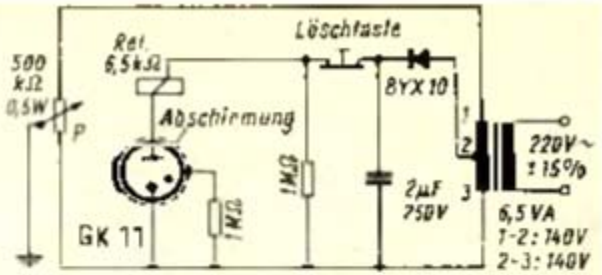


Bild 3-90 Löschung der Röhre durch Löschtaste

Links: Bild 3-89 Montagefertiger Einbau-Druckknopf GKF 11 (Carl)

gesehen, wie es in der Schaltung nach **Bild 3–90** gezeichnet ist. Das Potentiometer P, das auch fortfallen kann, dient zur Einstellung der Steuerempfindlichkeit, die bei $U_{st\sim} = 280$ V am höchsten und bei $U_{st\sim} = 100$ Volt am niedrigsten liegt.

Eine elektronische Löschung ermöglicht die Speisung mit Halbwellen, wie sie z. B. in der Schaltung **Bild 3–91** der GK 11 als *Berührungstaste* gewählt wurde. Hier zündet die Röhre bei Berührung der Außenelektrode in jeder positiven Halbwelle (und das Relais zieht an), und zwar solange, wie die Berührung der Steuerelektrode anhält; hört sie auf, löscht die Röhre, und das Relais fällt wieder ab.

Eine weitere elektronische Löschmöglichkeit bietet das GK 11-*Flipflop* (**Bild 3–92**), das mit zwei Röhren bestückt ist. In dieser

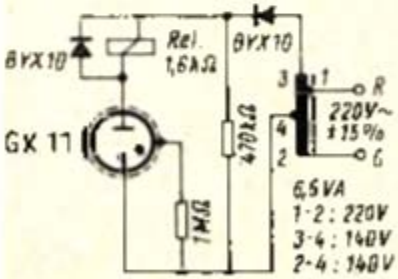


Bild 3–91 Schaltung als Berührungstaste

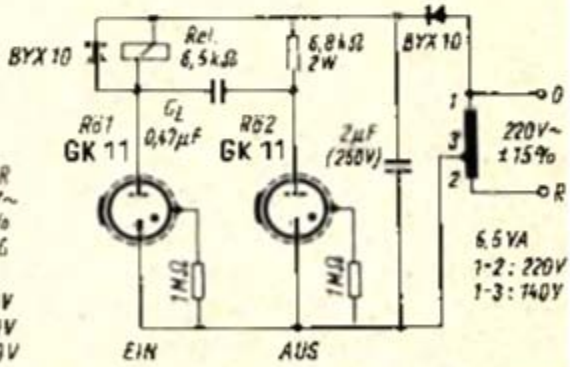


Bild 3–92 Löschung der Röhre durch Gegenröhre (Flipflop)

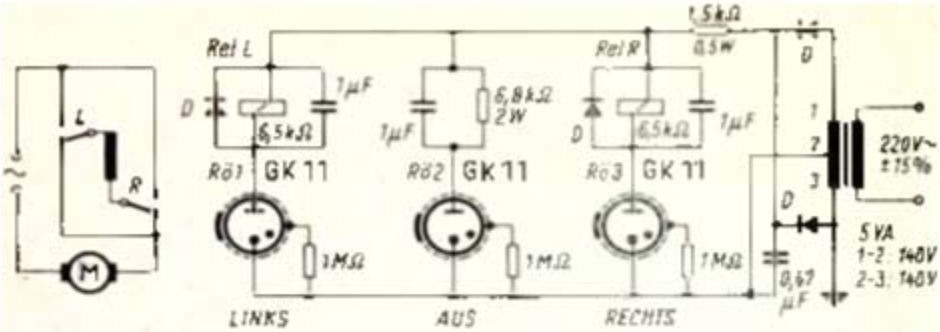


Bild 3-93 Elektronische Steuerschaltung für einen reversiblen Einphasen-Reihenschlußmotor. D = BYX 10 oder ähnlicher Typ

EIN-AUS-Schaltung wird Rö 1 durch Berühren gezündet und damit das Relais zum Ansprechen gebracht, während Rö 2 verlöscht. Die Löschung von Rö 1 geschieht nun durch Berühren der Steuerelektrode der Gegenröhre 2. Diese zündet, wobei die Zündübernahmespannung von der Speisespannung U_{a0} auf die Brennspannung U_{aB} abfällt. Über den Kondensator C_t wird dieser Spannungssprung $(U_{a0} - U_{aB})$ negativ auf Rö 1 übertragen, wodurch die an Rö 1 stehende Spannung bis unter die Brennspannung absinkt, so daß Rö 1 erlischt und das Relais abfällt (AUS-Schaltung). Nach Verlöschen von Rö 1 steigt durch Aufladung von C_L die an Rö 1 liegende Spannung wieder auf die Speisespannung U_{a0} an, und Rö 1 ist erneut betriebsbereit.

Der Anwendungsbereich des elektronischen Druckknopfes GK 11 bzw. GKF 11 als selbstanzeigender kontaktloser Schalter erstreckt sich in der Hauptsache auf elektronische Steuergeräte und Anlagen. Als Beispiel ist in **Bild 3–93** eine mit 3 × GK 11 bestückte *Steuerschaltung für einen Reversiermotor* angegeben, mit der sich die drei Betriebszustände AUS, Linkslauf und Rechtslauf eines Einphasen-Reihenschlußmotors schalten lassen. Die Drehrichtungsänderung erfolgt durch Umpolung der Feldwicklung. Bei Berührung des Druckknopfes LINKS zündet Rö 1, während die beiden anderen verlöschen, und das Relais L(inks) zieht an und schließt den Kontakt L(inks). Der Motor läuft im Linkslauf. Bei Rechtslauf wird Rö 3 durch Berühren gezündet, womit Rö 1 erlischt und das Relais L abfällt, während Relais R den Kontakt R schließt und damit das Feld auf Rechtslauf um-

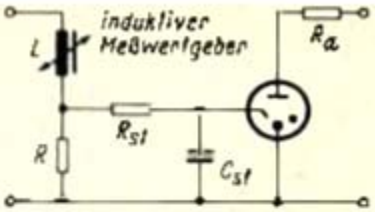


Bild 3-94 Spannungsteilerschaltung zur Anzeige von Induktivitätsänderungen

schaltet. Ist der Motor nicht für direkten Reversierbetrieb eingerichtet, kann er zwischen Rechts- und Linkslauf durch Zünden der AUS-Röhre zunächst zum Stillstand gebracht werden.

*

Wenn das Steuerelement des Schaltverstärkers *induktiver* Art ist, läßt sich zur Anzeige der Induktivitätsänderung ebenfalls *die Spannungsteilerschaltung* (**Bild 3-94**) anwenden. In dieser führt jede Änderung der Induktivität L (oder des Widerstandes R) zu einer Änderung der Teilspannung an R, die dann als Steuerspannung dem Starter der Relaisröhre zugeführt wird.

Außerdem läßt sich für die L-Steuerung – wie bei der kapazitiven Ansteuerung – ebenfalls eine *Integrierschaltung* benutzen und die Änderungen des L-Wertes in Änderungen der Zeitkonstante umsetzen. Eine Prinzipschaltung hierfür ist aus **Bild 3-95** zu ersehen. Das Integrierglied mit der veränderlichen Zeitkonstante liegt im Starterkreis der Röhre 1 und besteht aus der Induktivität L_1 (induktiver Meßwertgeber M_L) und dem Widerstand R_1. Das Relais liegt im Anodenkreis der zweiten Röhre, deren Integrierglied R_2 und C_2 bilden. Falls für die Zeitkonstanten $\tau_1 = \frac{L_1}{R_1}$ und $\tau_2 = R_2 \cdot C_2$ die Beziehung $\tau_1 > \tau_2$ besteht, wird Rö 2 zünden. Der C_2 parallel geschaltete Trimmer dient zum

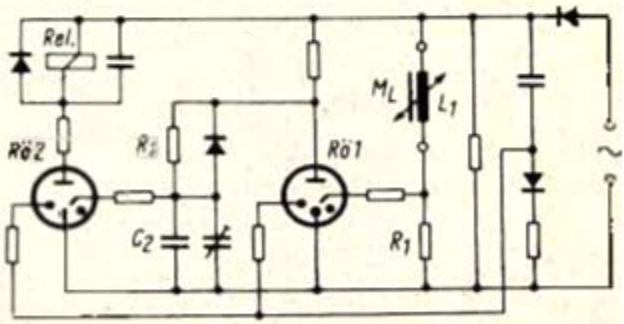


Bild 3-95 Prinzipschaltung zur Anzeige einer Induktivitätsänderung mit Benutzung einer Integrierschaltung

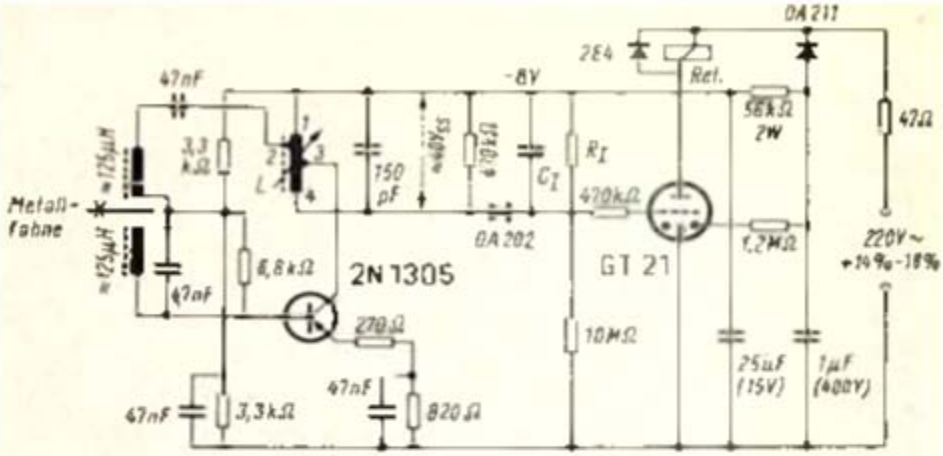


Bild 3–96 Induktiver Grenzwertschalter mit Transistor-Oszillator und Glimm-Thyratron GT 21 [Cer]. Spulendaten L: Kern K 3 002 22 [Phi], 1–2: 5 Wdg., 0,15 CuL; 2–3: 18 Wdg., 0,15 CuL; 3–4: 180 Wdg., 0,15 CuL. Widerstände: ± 10 %, 0,5 W

kapazitiven Ausgleich, d. h. zur Festlegung des Zündeinsatzpunktes.

Wenn das anschließende Schaltbeispiel eines *induktiven Grenzwertgebers* auch keine „echte", den Starter direkt beeinflussende, induktive Ansteuerung darstellt, soll es trotzdem in diesem Abschnitt mit Aufnahme finden. Induktive Grenzwertschalter finden in erster Linie als Näherungs- und Endschalter sowie zur Zeigerstellungsanzeige in Meßgeräten (Maximal-Minimal-Kontakt) Anwendung. Das eigentliche Steuerelement ist ein *Transistor-Oszillator*, der durch eine Metallfahne so stark bedämpft werden kann, daß die gleichgerichtete Schwingungsamplitude nicht mehr zur Zündung ausreicht und das Relais zum Abfallen bringt. Ein Wiederansprechen des Relais erfolgt erst dann, wenn die Metallfahne den Spulenbereich verlassen hat und wieder eine ausreichende Steuerspannung für die Relaisröhre zur Verfügung steht.

In dem Schaltungsbeispiel **Bild 3–96** erzeugt der Transistor-Oszillator eine Oszillatorfrequenz von etwa 200 kHz. Diese Schaltung wurde deshalb ausgesucht, weil dafür die Industrie einbaufertige, vollständige Oszillatoren und Tastköpfe herstellt, so daß auf den Selbstbau dieser Präzisionsteile verzichtet werden

kann. Der Schaltverstärker ist mit dem Glimm-Thyratron GT 21 [Cer] bestückt und arbeitet mit einem durch das Produkt des Gliedes R_1C_1 festgelegten Schaltintervall, das den jeweiligen Bedürfnissen anzupassen ist.

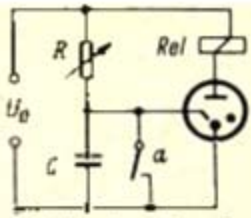


Bild 3–97 Grundschaltung eines Zeitkreises

3.2.3 Zeitverzögerungsschaltungen (Zeitkreise)

In Zeitverzögerungsschaltungen, auch elektronische Zeitgeber oder Zeitkreise genannt, ist das zeitbestimmende Element ein Kondensator C, der nach der Grundschaltung **Bild 3–97** über den Widerstand R von einer Gleichspannung U_0 aufgeladen wird. Der Spannungsanstieg U_C am Kondensator während der Aufladung folgt dabei einer Exponentialkurve nach der Gleichung

$$U_C = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

(**Bild 3–98**). Sobald die Kondensatorspannung U_C die Starterzündspannung U_{stZ} der Relaisröhre erreicht, zündet die Entladung, und das Relais zieht an. Über den Arbeitskontakt a des Relais entlädt sich der Kondensator, womit die Schaltung für ein neues Spiel betriebsbereit ist. Das Abfallen des Relais wird durch Unterbrechung der Speisespannung bewirkt.

Die Aufladezeit t (Verzögerungszeit) vom Einschalten bis zur Zündung der Starterstrecke (und damit der Hauptentladung) dauert um so länger, je größer der Widerstand R ist. Diesen Fall zeigt die im Diagramm gestrichelte Kurve für $R' > R$ mit der längeren Verzögerungszeit t'. Ebenso tritt eine Verlängerung der Aufladezeit durch Vergrößerung der Ladekapazität ein. Allgemein läßt sich die Verzögerungszeit t aus der Gleichung

$$t = 2{,}3 \log \frac{1}{1 - \frac{U_{stZ}}{U_0}} \; R \cdot C$$

U_0 = Ladespannung, t [s], R [MΩ], C [μF]

ermitteln.

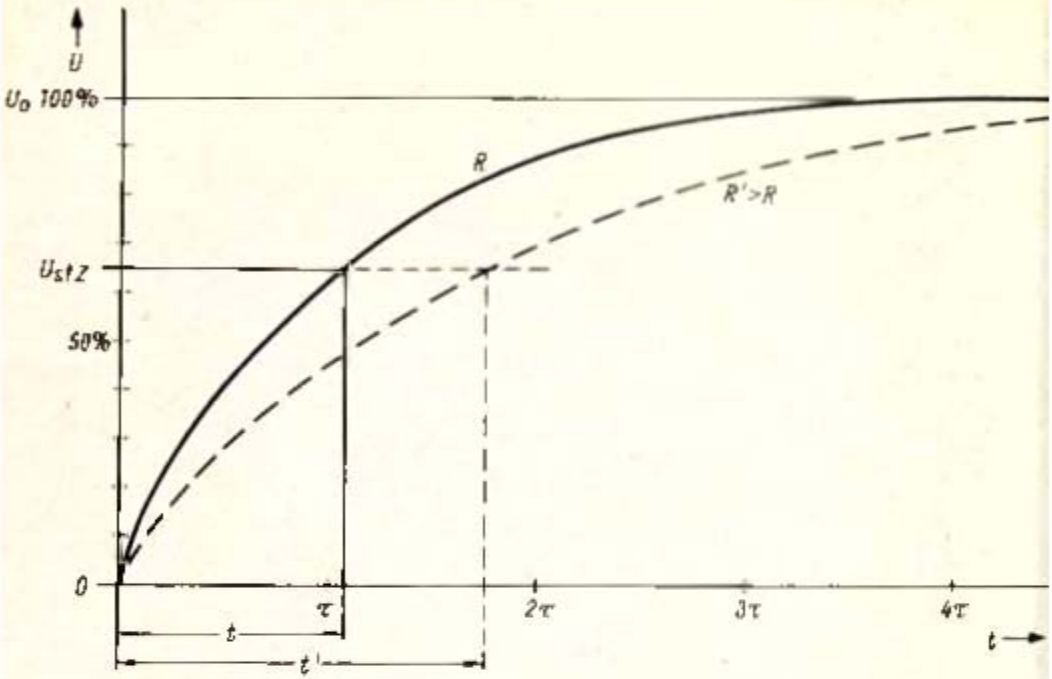


Bild 3.98 Spannungsanstieg am Verzögerungskondensator. Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$

Um exakte Zündeinsätze zu gewährleisten, ist die Ladespannung für den Verzögerungskondensator zweckmäßig wenigstens ein Drittel höher zu wählen als die Starterzündspannung. Damit wird erreicht, daß sich der Zündpunkt im steilen Kurventeil des Exponentialanstieges befindet. Konstante Zündbedingungen, d. h. genau reproduzierbare Verzögerungszeiten, sind mit Röhren mit Reinmolybdänkatoden und / oder Vorionisierungsstrecken zu erzielen. Außerdem muß für eine gute Konstanz der Speisespannung gesorgt werden, die – je nach den Genauigkeitsansprüchen – einfach oder doppelt zu stabilisieren ist, es sei denn, daß die Einflußnahme der Betriebsspannung auf die Verzögerungszeit erwünscht ist (10% Netzspannungserhöhung ergeben rund 15% Zeitverkürzung). Das ist beispielsweise in der fotografischen Reproduktionstechnik der Fall, um den bei erhöhter Netzspannung auftretenden größeren Lichtstrom durch entsprechend kürzere Verzögerungszeiten (Belichtungszeiten) zu kompensieren. Weiterhin wird die Zeitgenauigkeit in hohem

Maße von der Güte der Widerstände und Kondensatoren bestimmt. Die Bauelemente sollen enge Toleranzen aufweisen und alterungsbeständig sein. Zeitbestimmende Potentiometer müssen reichlich dimensioniert werden, damit keine Überlastungen auftreten können; man schaltet sie fast immer mit Festwiderständen in Reihe, deren Ohmwert etwa 5 % des Potentiometer-Nennwertes beträgt. Von den Kondensatoren werden an erster Stelle sehr hohe Isolationswerte verlangt. Elektrolytkondensatoren eignen sich nur für solche Verzögerungsschaltungen, die keine Genauigkeitsansprüche zu erfüllen haben.

Auch der Schaltungsaufbau muß einen hohen Isolationswiderstand besitzen und darf diesen selbst nach langer Betriebsdauer

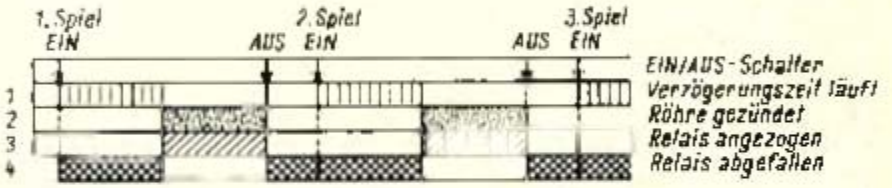


Bild 3-99 Diagramm einer Verzögerungsschaltung

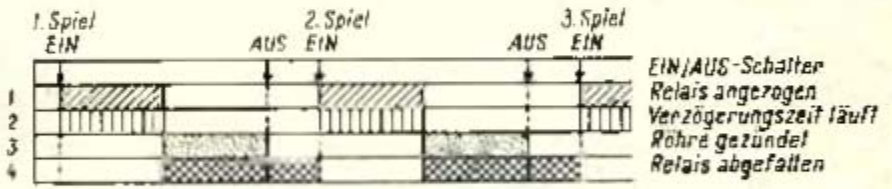


Bild 3-100 Diagramm einer Zeitgeberschaltung

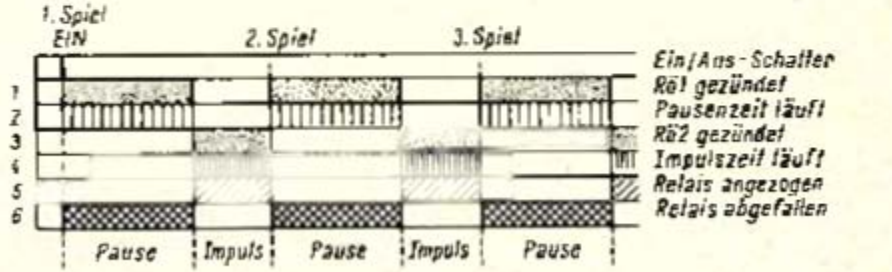


Bild 3-101 Diagramm eines Impulsgebers
(Taktgeberschaltung mit zwei Röhren)

oder durch Feuchtigkeitseinflüsse nicht verlieren. Schaltungen für besonders hohe Genauigkeitsanforderungen und mit sehr langen Verzögerungszeiten sollen deshalb zweckmäßig vergossen sein oder zumindest einen Silikonlacküberzug erhalten.

Die Verzögerungszeiten bewegen sich normalerweise innerhalb des Sekunden- und Minutenbereiches, es gibt aber auch Schaltungen mit Verzögerungen im Millisekundenbereich und bis zu einer Stunde und darüber.

Grundsätzlich lassen sich drei Arten von Zeitschaltungen unterscheiden:

1. Die Verzögerungsschaltung, in der das Relais erst nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit anspricht und solange in diesem Zustand verbleibt, bis es abgeschaltet wird (**Bild 3–99**).

2. Die Zeitgeberschaltung, in der Verzögerungszeit und Relais gleichzeitig eingeschaltet werden. Das Relais bleibt solange angezogen, wie die Verzögerungszeit läuft (**Bild 3–100**).

3. Die Taktgeberschaltung, die mit zwei Röhren und zwei Verzögerungszeiten arbeitet, von denen die eine die Impulsdauer und die andere die Impulspause bestimmt (**Bild 3–101**).

Die Schaltungen 1. und 2. können für einmaligen Ablauf (manuelle Ein- bzw. Ausschaltung) oder für automatische Wiederholung des Schaltspiels ausgelegt werden. Die Verzögerungszeiten lassen sich in allen Schaltungen als feste oder veränderliche Werte einstellen.

Eine mit der Subminiaturröhre GR 44 (Cer) aufgebaute Verzögerungsschaltung ist in **Bild 3–102** dargestellt, ihre Funktion

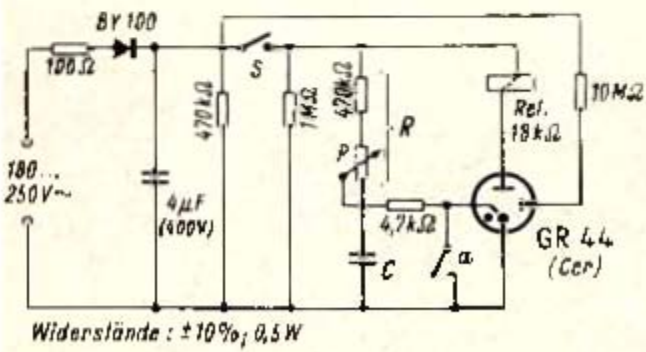


Bild 3–102 Zeitverzögerungsschaltung ohne Stabilisierung (Relais während der Verzögerungszeit abgefallen)

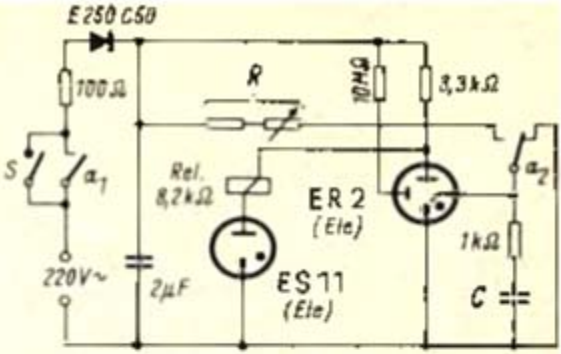


Bild 3–103 Zeitgeberschaltung mit den Röhren ES 11 und ER 2 (Relais während der Verzögerungszeit angezogen)

entspricht dem Diagramm Bild 3–99. Hier beginnt der Ablauf der von der *RC*-Kombination festgelegten Verzögerungszeit im Moment des Einschaltens (durch S); die Röhre zündet, sobald die Spannung am Kondensator C die Starterzündspannung erreicht hat. Das Relais zieht an und bleibt solange in Betriebsstellung, bis es durch Öffnen von S (durch Unterbrechung der Speisespannung) abfällt. Der Arbeitskontakt a des Relais dient zum Entladen von C. Die Verzögerungszeit dieser unstabilisierten Schaltung beträgt

$$t\ [s] \approx 0{,}6 \cdot R\ [M\Omega] \cdot C\ [\mu F]$$

$$R = 470\ k\Omega + P$$

Das folgende Schaltungsbeispiel (**Bild 3–103**) gibt ein *Zeitrelais* wieder, bei dem das Relais *während* der Verzögerungszeit angezogen ist. Nach kurzzeitiger Betätigung des Schalters S zündet die Stabilisatorröhre ES 11 (Ele), das Relais zieht an und schließt den Selbsthaltekontakt a_1 sowie den Umschaltkontakt a_2, der die Aufladung des Verzögerungskondensators C (über *R*) ermöglicht. Mit Erreichen der Starterzündspannung zündet die Röhre ER 2 (Ele). Der nach dem Zünden auftretende Spannungsabfall an der Relaisröhre ist dann etwa gleich dem Spannungsabfall an der Stabilisierungsröhre, womit das Relais abfällt und durch Öffnen von a_1 den Zeitgeber wieder abschaltet.

In der mit 2 × SR 44 (Cer) stabilisierten *Impuls*geberschaltung in **Bild 3–104** sind die Impuls- und Pausenzeiten unabhängig voneinander einstellbar, und zwar mit Hilfe der Zeitglieder R_1C_1 und R_PC_P. Als Relaisröhren kommen zwei GR 44 (Cer) mit Vorioni-

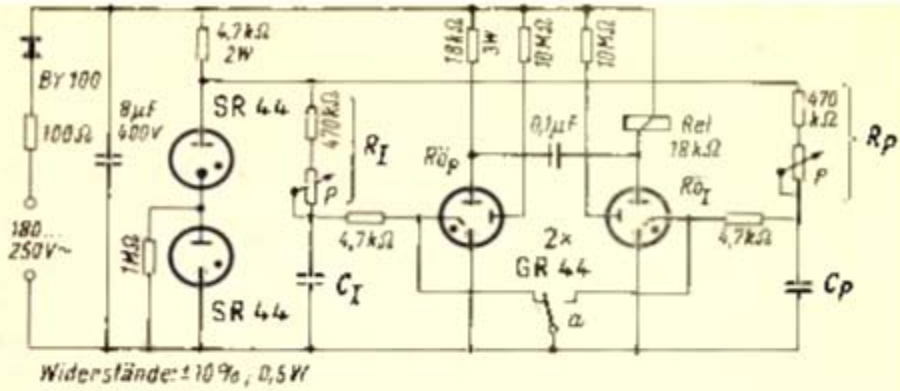


Bild 3-104 Stabilisierte Impulsgeberschaltung mit einstellbaren Impuls- und Pausenzeiten, bestückt mit 2 × SR 44 und 2 × GR 44

sierungsstrecken zur Anwendung. Angenommen: Röp ist gezündet und Röı gelöscht. Dann wird in dem Pausenglied die Kapazität C_P über R_P bis zur Starterzündspannung der Röı aufgeladen; damit zündet die Impulsröhre Röı und erregt das Relais, während zu gleicher Zeit die Pausenröhre Röp erlischt. Die Pause ist beendet, der Impuls läuft. Nun erfolgt die Aufladung des Kondensators C_I über R_I (Impulsdauerglied), bis wiederum die Pausenröhre Röp zündet, die Impulsröhre Röı stromlos wird und das Relais abfällt. Jetzt ist der Impuls beendet, und die neue Pause beginnt. Die Pausen- und Impulszeiten für diese Schaltung ergeben sich aus dem Produkt

$$t\ [s] \approx 1{,}4 \cdot R\ [M\Omega] \cdot C\ [\mu F]$$

$$R = 470\ k\Omega + P \quad (P_{max} \approx 10\ M\Omega)$$

Für *stabilisierte* Zeitverzögerungsschaltungen in Kompaktaufbau bietet die Verbundröhre ESR 2 [Ele] insofern beachtliche Vorteile, weil alle für die Schaltung erforderlichen Röhrensysteme in einem einzigen Kolben untergebracht sind. In dem Schaltbeispiel **Bild 3–105** dient S_1 lediglich als Netzschalter, während der Steuerschalter S_2 in die Minusleitung verlegt wurde. Dadurch bleiben die Stabilisierungsstrecken während der ganzen Betriebsbereitschaft gezündet, und eventuelle Unterschiede in den Ent-

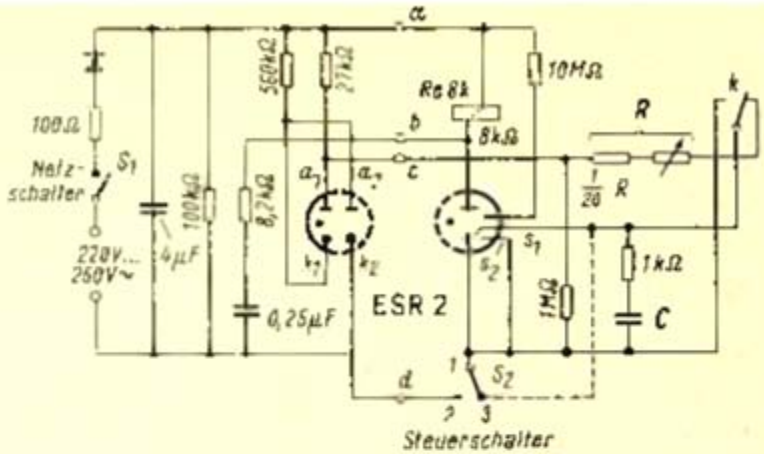


Bild 3–105 Stabilisierte Zeitverzögerungsschaltung mit der Verbundröhre ESR 2

ladungs-Aufbauzeiten können auf die Verzögerungszeit keinen Einfluß nehmen. Ist S_2 geöffnet, befinden sich Starter 1 und Katode auf gleichem Potential, und der Verzögerungskondensator C bleibt selbst bei mangelhafter Schalterisolation über den 1-MΩ-Widerstand entladen. Wird der Steuerschalter S_2 geschlossen, setzt der Ablauf der Verzögerungszeit ein: C ladet sich über R bis zur Starterzündspannung auf. Dann zündet die Röhre, das Relais spricht an und entlädt über den Umschaltkontakt k gleichzeitig den Ladekondensator C. Durch Ausschalten von S_2 wird das Relais zum Abfallen gebracht.

Bei Betrieb der Röhre ESR 2 mit normalen Daten ergibt sich eine Verzögerungszeit von

$$t\,[s] \approx 0{,}9 \cdot R\,[M\Omega] \cdot C\,[\mu F]$$

Benutzt man als Steuerschalter einen *Umschalter* und verbindet den Kontakt 3 durch die im Schaltbild 3–105 gestrichelt eingezeichnete Leitung mit der Starterzuleitung, so besteht *Rückstellmöglichkeit*, das bedeutet: der Verzögerungsablauf läßt sich *noch vor* dem Ansprechen des Relais unterbrechen. Das geschieht durch Umlegen von S_2 auf Kontakt 3, wodurch C sofort entladen wird. Mit der Umschaltung auf Kontakt 2 beginnt dann der Zeitablauf von vorn.

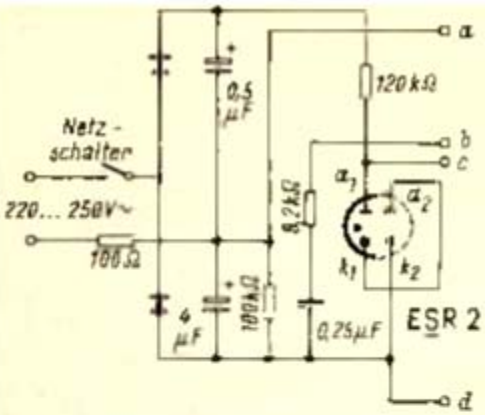


Bild 3–106 Verdopplung der Stabilisator-Speisespannung zwecks Erhöhung der Zeitgenauigkeit

Eine wesentlich höhere Zeitgenauigkeit bringt die Verdopplung der Stabilisierungsspannung. Eine von Elesta angegebene, in **Bild 3–106** dargestellte Schaltung ist hierzu an die Punkte a, b, c und d der Schaltung Bild 3–105 anzuschließen.

Die stabilisierte Schaltung **Bild 3–107** ist für Verzögerungszeiten zwischen 10 s und 60 min ausgelegt, vorausgesetzt, daß alle Bauelemente einschließlich der Starterzuleitung die erforderliche hochwertige Isolation aufweisen. Der mit 2 × SR 44 [Cer] stabilisierte Zeitkreis arbeitet mit der Röhre GR 31 [Cer]. Mit dem Schließen des Schalters S beginnt die Verzögerungszeit, mit deren Ende die Röhre zündet und das Relais anzieht. Das Abfallen des Relais bewirkt das Öffnen des Schalters. Die Entladung des Verzögerungskondensators wird in dieser Schaltung durch Anlegen einer Hilfsspannung [über den Relais-Arbeitskontakt a] – ungefähr in der Größe der Startersondenspannung – vorgenommen.

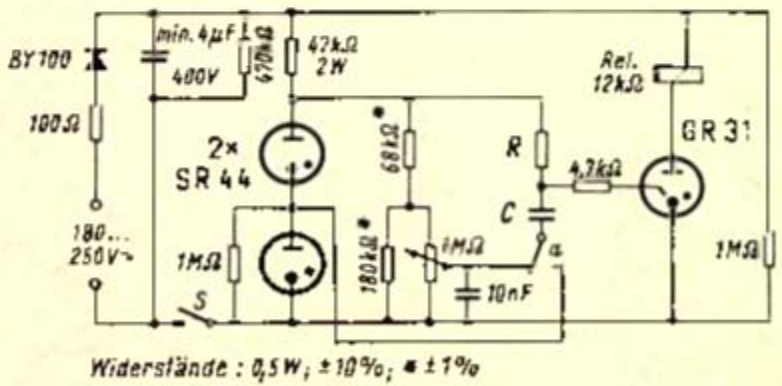


Bild 3–107 Verzögerungsschaltung für den Zeitbereich 10 s bis 60 min

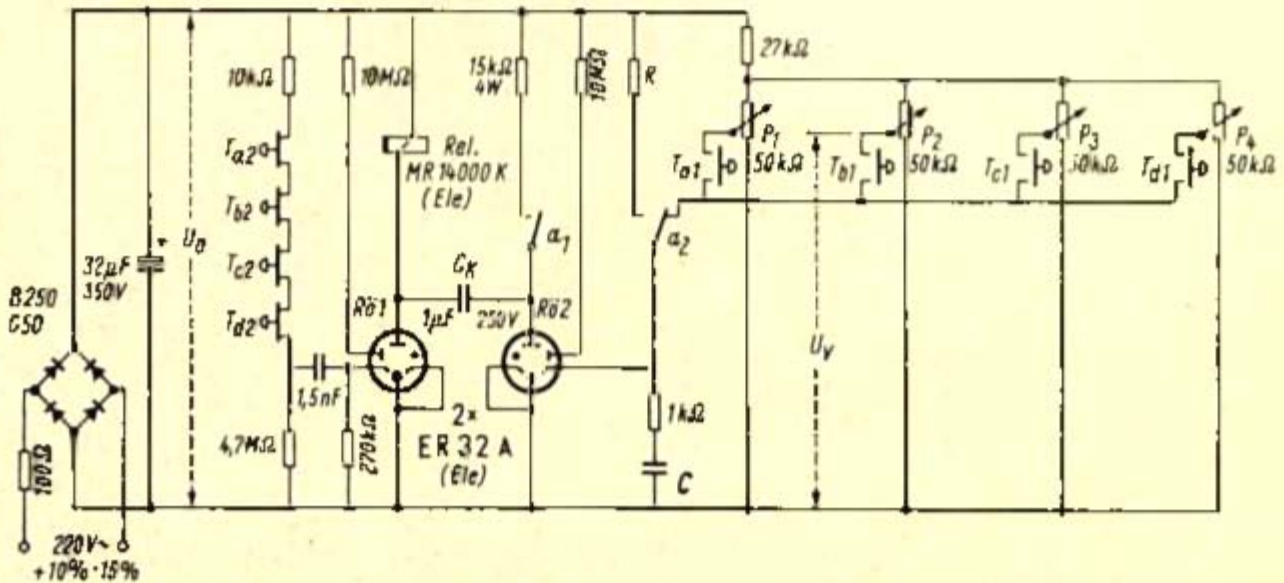


Bild 3–108 Zeitschaltung mit Drucktastenwahl für vier voreingestellte Festzeiten

Lange Verzögerungszeiten - bis zu einer Stunde – lassen sich auch mit einem *Multivibrator* (Rechteckgenerator) und anschließender Integrierschaltung erzielen, wobei die in der Folgefrequenz und Amplitude regelbaren Rechteckimpulse über eine Diodenschaltung einen Integrierkondensator aufladen, dessen Spannung die Starterelektrode ansteuert. Noch längere Zeiten sind mit Vorschaltung von *Zählstufen* zu erhalten.

Mit vier *voreingestellten, festen* Verzögerungszeiten, die durch Drucktasten anwählbar sind, arbeitet die mit zwei Röhren ER 32 A [Ele] bestückte Schaltung **Bild 3–108**. Bei Betätigung einer der vier Zeittasten T lädt sich C auf die durch P eingestellte Vorspannung U_V auf. Wird die gedrückte Taste dann wieder freigegeben, erhält der Starter der Röhre 1 einen positiven Steuerimpuls, demzufolge die Röhre zündet und das Relais erregt, das seinerseits wieder die Kontakte a_1 und a_2 schaltet. Über a_2 liegt nun R an C, und der Verzögerungskondensator wird weiter aufgeladen, bis die Röhre 2 zündet, während Rö 1 über den Koppelkondensator C_K verlöscht. Damit wird das Relais stromlos und fällt ab. Das Relais bleibt also *während* der Verzögerungszeit angezogen. Infolge der Umschaltung von a_2 nimmt eine erneute Betätigung der Drucktasten *während* des Ablaufes der Verzögerungszeit keinen Einfluß auf die Funktion der Schaltung. Die Verzögerungszeit t ist in dieser Schaltung außer von den Werten R und C zusätzlich von der eingestellten Vorspannung abhängig und durch die Gleichung

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{1}{1 - \dfrac{U_{stZ} - U_V}{U_0 - U_V}}$$

t [s], R [MΩ], C [µF]

festgelegt.

Auch mit dem elektronischen Druckknopf (Abschnitt 3.2.2.6) läßt sich in Verbindung mit einer Relaisröhre ein Zeitkreis aufbauen, der sich durch große Einfachheit auszeichnet. Ein Schaltungsbeispiel mit einem Einstellbereich von annähernd 1 : 10 ist aus **Bild 3–109** ersichtlich, das die Ausgangsstellung mit gezün-

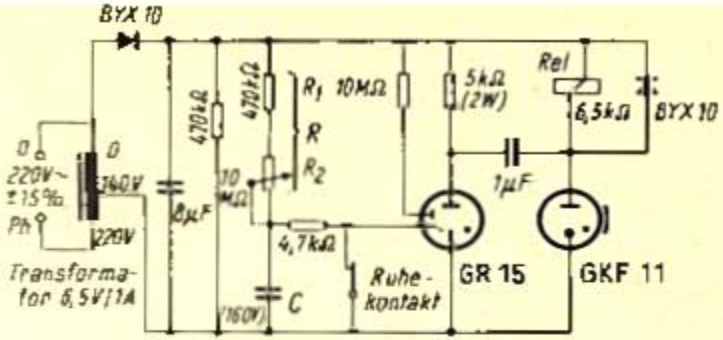


Bild 3–109 Zeitverzögerungsschaltung mit elektronischem Druckknopf (Potentiometer R_2 max. 20 MΩ)

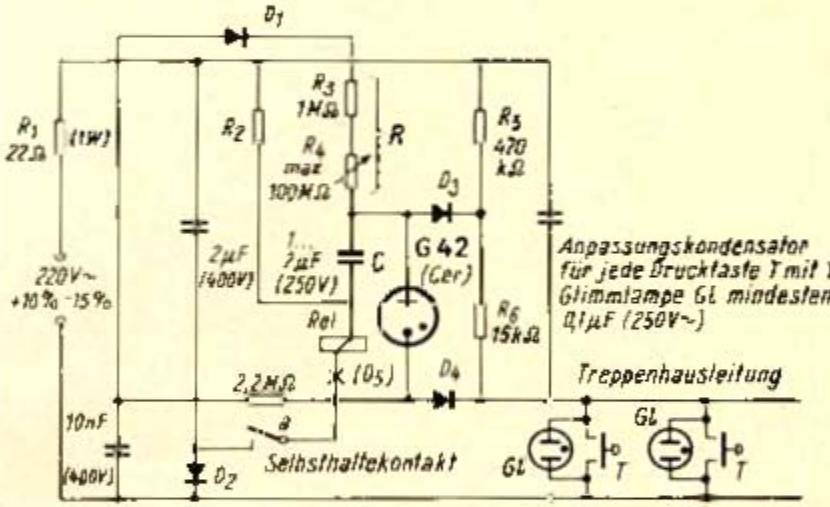


Bild 3–110 Treppenbeleuchtungsautomat mit der Schaltdiode G 42 (Cer) und pulsierender Ladespannung. Dioden: BYX 10 oder S 1 A 150; Widerstände: 0,5 W, ± 10 %

deter Relaisröhre, abgefallenem Relais und unbeleuchtetem Druckknopf wiedergibt. Nach Berühren des Druckknopfes GKF 11 zündet dieser, und sein Glimmstrom erregt das Relais. Im gleichen Moment löscht die Glimmröhre GR 15 [Cer], und die Laufzeit der mit C und R regelbaren Verzögerungszeit beginnt; sie findet ihr Ende, sobald die Kondensatorspannung bis zur Zündspannung der Relaisröhre angestiegen ist. Dann zündet die Röhre GR 15, der Druckknopf erlischt, und das Relais geht in Ruhestellung,

womit die Schaltung erneut betriebsbereit ist. Für die Verzögerungszeit der Schaltung gilt die Gleichung

$$t\,[s] \approx 1{,}1 \cdot (R_1 + R_2)\,[M\Omega] \cdot C\,[\mu F]$$

Abschließend folgt noch ein Beispiel für die Anwendung einer Verzögerungsschaltung als *Treppenbeleuchtungsautomat* (**Bild 3–110**). Die mit der Schaltdiode G 42 [Ger] bestückte Schaltung ist so aufgebaut, daß sie während der eingestellten Verzögerungszeit die Treppenhausbeleuchtung einschaltet, wobei die Verzögerungszeit während ihres ganzen Ablaufes jederzeit rückstellbar ist. Arbeitet die Schaltung mit *pulsierender* Ladespannung, wie im Schaltbild dargestellt, ergibt sich eine Verzögerungszeit

$$t\,[s] \approx 3 \cdot (R_3 + R_4)\,[M\Omega] \cdot C\,[\mu F]$$

Bei Betrieb mit *geglätteter* Speisespannung errechnet sich die Verzögerungszeit

$$t\,[s] \approx 0{,}7 \cdot (R_3 + R_4)\,[M\Omega] \cdot C\,[\mu F]$$

Bei ausgeschalteter Treppenhausbeleuchtung befindet sich das Relais in Ruhestellung, während die Anzeigeglimmlampen in den Tastschaltern brennen. Wird eine der Drucktasten betätigt, verlöschen sämtliche Glimmlampen, während gleichzeitig durch den ausgelösten Stromfluß Netz → R_1 → R_2 → Rel → D_4 → T → Netz das Relais anspricht, das sich über den Kontakt a selbst hält und über einen weiteren Arbeitskontakt die Treppenhausbeleuchtung einschaltet. Bei Freigabe der Drucktaste zünden die Glimmlampen erneut, und C beginnt sich über R bis zur Zündspannung der GR 42 aufzuladen. Mit der Zündung der Röhre entlädt sich C über das Relais, das durch den negativen Entladestrom zum Abfallen gebracht wird. Damit hebt sich durch Öffnen von a die Selbsthaltung des Relais auf, und zugleich schaltet sich durch Öffnen des Arbeitskontaktes die Treppenhausbeleuchtung wieder ab. Die vollständige Entladung von C erfolgt über D_3, R_5 und R_2.

Besitzt der Ladekondensator C einen höheren Wert als etwa 2...3 µF, so fügt man an der in der Zeichnung mit × bezeichneten Stelle in Serie mit dem Relais eine zusätzliche Diode D_5 ein, die eventuelle Rückprellungen des Relais verhindern soll. Das

Gleichstromrelais wird für 24...36 V Betriebsspannung und mit einem Wicklungswiderstand von ca. 3 kΩ ausgewählt. Für den Vorschaltwiderstand R_v ergibt sich bei Speisung des Relais mit 300 V ein Wert von

$$R_v = R_{Rel}\left(\frac{300 - U_{Rel}}{U_{Rel}}\right)$$

und für seine Belastung ein Wert von

$$P_{Rv} = (300 - U_{Rel}) \cdot \frac{U_{Rel}}{R_{Rel}}$$

R_{Rel} = Relais-Wicklungswiderstand

U_{Rel} = Relais-Betriebsspannung

Sämtliche Bauelemente für diese Schaltung, einschließlich der Montageplatte, müssen sehr hohe Isolationswiderstände aufweisen. Die Subminiatur-Schaltdiode G 42, die mehr als $50 \cdot 10^9$ Schaltspiele aushält, wird in die Schaltung eingelötet. Die fertige Schaltung ist gegen Feuchtigkeitseinflüsse und Verschmutzung nach Möglichkeit in Gießharz einzubetten oder wenigstens mit einem mehrfachen Silikonlack-Überzug zu versehen.

3.2.4 *Zählschaltungen*

Zu den meist verwendeten elektronischen Zählschaltungen gehören die binären, die dezimalen und die biquinären Zähler. *Binäre* Zähleinrichtungen arbeiten im Zweier-Zahlensystem (binär, dual), das auch als Zahlensystem mit der Basis 2 bezeichnet wird. Binärzähler bauen sich auf einer Serien- oder Parallelschaltung einer Anzahl *bistabiler Multivibratoren* auf. Da binäre Zählanordnungen heute fast ausschließlich mit Halbleitern bestückt sind und ganz selten einmal mit Glimmrelaisröhren, braucht die Binärzählung hier nur kurz gestreift zu werden.

Die Blockschaltung eines Binärzählers mit vier bistabilen Multivibratoren in – der schaltungsmäßig weniger aufwendigen – Serienschaltung gibt **Bild 3–111** wieder. Jeder dieser Multivibratoren überträgt einen Impuls an die nächstfolgende Stufe, sobald

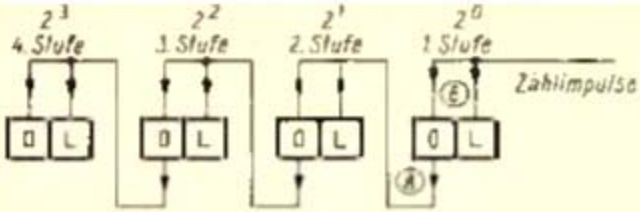


Bild 3–111 Blockschaltung eines Binärzählers aus vier bistabilen Multivibratoren. Ⓔ und Ⓐ – Multivibrator-Eingang und -Ausgang (vgl. Bild 3–112)

die vorangehende Stufe auf Null wechselt. Für die Schaltung der Multivibratoren sind verschiedene Varianten möglich (**Bild 3–112**), vorausgesetzt, daß diese bei dem Wechsel auf Null einen positiven Impuls erzeugen.

Die am Binärzähler eintreffenden Zählimpulse wirken nur auf die erste Zählstufe (erster Multivibrator) ein, die somit bei jedem eintreffenden Impuls umkippt, d. h. aus dem 0-Ruhezustand (AUS) in den leitenden L-Zustand (EIN) – und umgekehrt – überwechselt. Die zweite Stufe kippt bei jedem zweiten, die dritte Stufe bei jedem vierten und die vierte Stufe bei jedem achten Zählimpuls um (**Bild 3–113**). Mit dem 16. Impuls hat der vierstufige Binärzähler dann wieder seine Ausgangsstellung erreicht.

Ein Binärzähler mit n Stufen hat eine Zählkapazität von 2^n-1 Impulsen, bei einem Vierstufen-Zähler also $2^4-1 = 15$ Impulse. Bereits eine einzige Stufe mehr erweitert den Zählbereich auf $2^5 - 1 = 31$ Impulse. Der Schaltungsaufwand eines Binärzählers ist verhältnismäßig gering, dafür aber bereitet die Ablesung des Zählerstandes wegen der Darstellung als Binärzahl gewisse Schwierigkeiten.

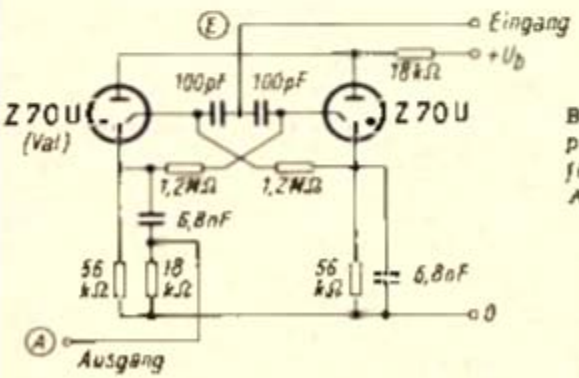
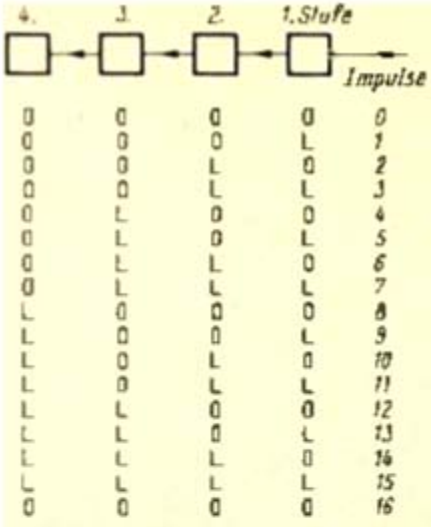
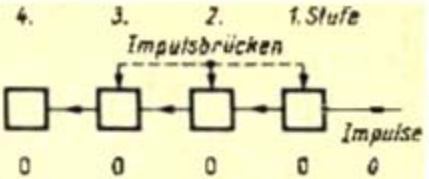


Bild 3–112 Widerstandsgekoppelter bistabiler Multivibrator für Binärzähler. Ⓐ und Ⓔ = Ausgang bzw. Eingang (vgl. Bild 3–111)



4.	3.	2.	1. Stufe	Impulse
0	0	0	0	0
0	0	0	L	1
0	0	L	0	2
0	0	L	L	3
0	L	0	0	4
0	L	0	L	5
0	L	L	0	6
0	L	L	L	7
L	0	0	0	8
L	0	0	L	9
L	0	L	0	10
L	0	L	L	11
L	L	0	0	12
L	L	0	L	13
L	L	L	0	14
L	L	L	L	15
0	0	0	0	16

Bild 3–113 Zählweise eines vierstufigen Binärzählers



4.	3.	2.	1. Stufe	Impulse
0	0	0	0	0
0	L	L	L	1
L	0	0	0	2
L	0	0	L	3
L	0	L	0	4
L	0	L	L	5
L	L	0	0	6
L	L	0	L	7
L	L	L	0	8
L	L	L	L	9
0	0	0	0	10

Bild 3–114 Zählweise eines dekadischen vierstufigen Binärzählers mit Impulsbrücken

Soll ein Binärzähler für Dezimalzählung Verwendung finden, ist dafür zu sorgen, daß sich dieser bereits nach zehn Impulsen wieder in seiner Ausgangsposition befindet. Bei einem Binärzähler mit vier Stufen sind deshalb sechs Zählschritte zu überspringen, was durch Überbrücken einzelner Zählerstufen zu realisieren ist. Obwohl das Überspringen der sechs Zählschritte nach jedem Impuls geschehen könnte, ist in dem Beispiel in **Bild 3–114** der besseren Übersicht wegen die Impulsbrücke so geschaltet, daß schon der erste Zählimpuls den Zähler gleich auf den siebenten Schritt 0LLL stellt, also die ersten sechs Schritte überspringt. Vom nächsten eintreffenden Impuls ab wird dann „normal" weitergezählt (L000, L00L, L0L0 usw.), wie ein Vergleich mit dem Zählschema in Bild 3–113 erkennen läßt.

Soll eine *Sichtanzeige* des Zählerstandes in Dezimalzahlen (z. B. mit Ziffernanzeigeröhren) erfolgen, werden die vier Stufen des dezimalen Binärzählers durch *UND-Funktionsglieder* miteinander verknüpft (**Bild 3–115**).

Dezimale Zähleinrichtungen bieten sich in ihrer einfachsten Form als Zählketten an (**Bild 3–116**). Darunter versteht man die Hintereinschaltung von beliebig vielen Glimmröhren (Stufen) mit

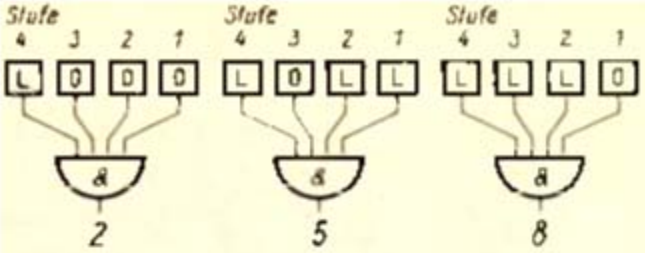


Bild 3–115 Drei Beispiele für die Dezimalanzeige eines dekadischen Binärzählers (z. B. mit Ziffernanzeigeröhren)

ihren beiden möglichen Zuständen EIN und AUS, wobei Sorge getroffen ist, daß die auf alle Röhren gleichzeitig einwirkenden Zählimpulse nur immer jeweils eine einzige Glimmröhre in der ganzen Kette zünden, und zwar stets die, welche auf eine gerade brennende Röhre folgt. So wandert mit jedem Zählimpuls die Entladung – der EIN-Zustand der Röhren – von einer Röhre zur nächsten. Dabei ermöglicht das Glimmlicht der brennenden Röhre die sofortige Ablesung des jeweiligen Zählerstandes. Außerdem lassen sich jeder gezündeten Stufe in einfachster Weise und unmittelbar Steuerimpulse entnehmen. Der Nachteil der an und für sich sehr einfach aufgebauten Zählkette ist der, daß sie für jeden zu zählenden Impuls eine eigene Stufe verlangt, d. h. für eine Zählung von Null bis zur Zahl n sind $n + 1$ Stufen [Röhren] notwendig. Deshalb ist die Zählkette für größere Zahlen wirtschaftlich nicht tragbar.

Um auch sehr große Zahlen mit geringstem Stufen- bzw. Röhrenaufwand zu registrieren, wird das Ende einer Zählkette wieder mit ihrem Anfang verbunden, und aus der Zählkette entsteht der Zählring (oder Ringzähler). Theoretisch könnte ein solcher Zählring eine beliebige Stufenzahl besitzen; mit Hinblick auf das dekadische Zählverfahren basieren die Ringzähler – von wenigen Ausnahmen abgesehen – immer auf zehn Stufen, die

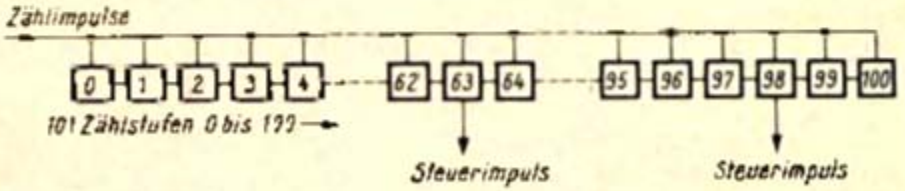


Bild 3–116 Zählkette mit 101 Stufen zählt von 0 bis 100

den Ziffern 0 bis 9 zugeordnet sind (**Bild 3–117**). Erhält ein Ringzähler laufend Zählimpulse, so wird der EIN-Zustand der (gezündeten) Glimmröhren den Ring von Stufe zu Stufe kontinuierlich durchlaufen, solange Zählimpulse eintreffen. Bei der Stufe 0 löst der EIN-Zustand einen zusätzlichen „Dekadenimpuls" aus, der einem zweiten Ringzähler zugeführt wird und diesen von 0 auf 1 stellt. Zur Anzeige kommt also die Zahl 10, und zwar die Ziffer 1 auf dem zweiten Dekadenzählring (Zehner-Dekade) und die Ziffer 0 auf dem ersten Ring (Einer-Dekade).

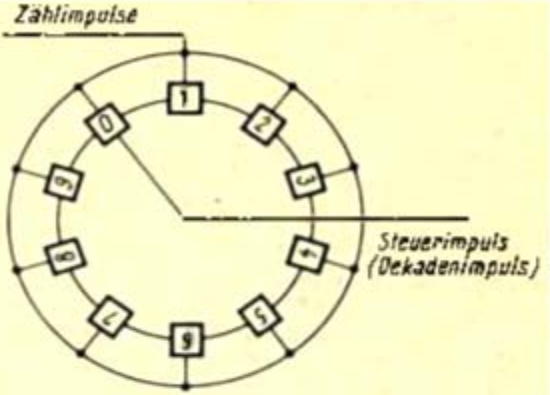


Bild 3–117 Dekaden-Zählring (zehnstufig)

Zehnstufige Zählringe lassen sich zu mehreren aneinanderreihen, wobei mit n Dekadenringen maximal $10^n - 1$ Impulse gezählt werden können. In **Bild 3–118** ist der Schemaaufbau eines Vierdekadenzählers gezeichnet, der bis $10^4 - 1 = 9999$ Impulse registrieren kann. Darin sind die Dekaden über Impulsformer-

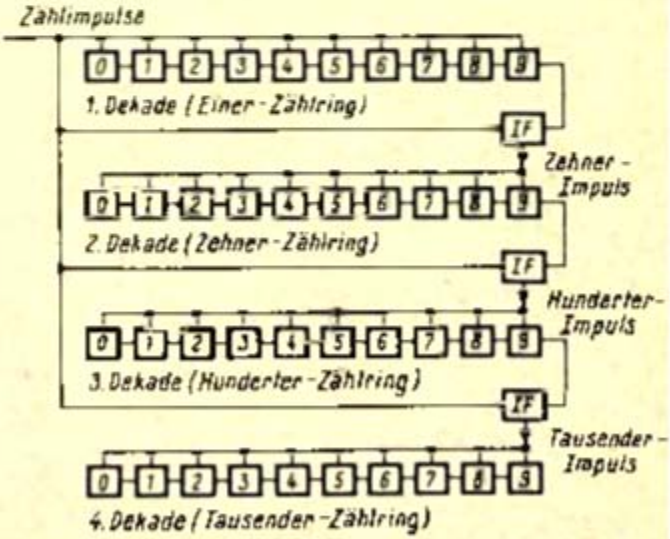


Bild 3–118 Schema-Aufbau eines Vierdekadenzählers

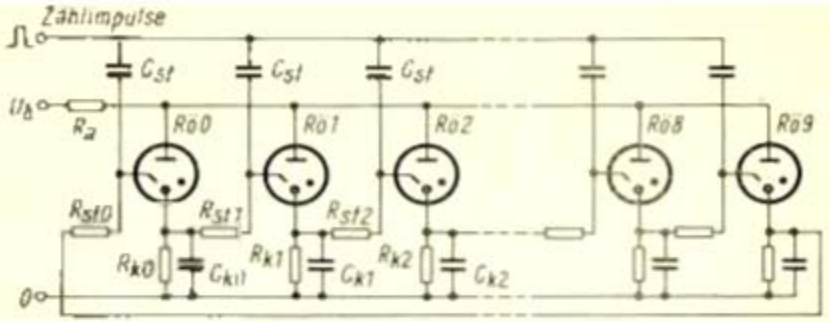


Bild 3–119 Funktionsschaltung eines vorwärts zählenden Dekaden-Ringzählers mit gemeinsamem Anodenwiderstand

stufen (IF) verbunden, welche die Zehner-, Hunderter-, Tausender-Impulse usw. erzeugen und den nachgeschalteten Dekadenringen zuführen.

Der Aufbau von Glimmröhren-Zählringen kann mit Glimmdioden, Kaltkatoden-Relaisröhren oder Dekaden-Glimmzählröhren erfolgen. Glimmdioden jedoch ergeben wegen der Inkonstanz ihrer Zündspannung keine auf längere Zeit betriebssicher und stabil arbeitenden Schaltungen und erreichen wegen ihrer verhältnismäßig großen Trägheit auch keine höheren Zählgeschwindigkeiten. Deswegen werden für Glimmröhren-Zähler ausschließlich Relaisröhren oder Dekadenzählröhren verwendet.

Die Funktionsschaltung eines dekadischen Ringzählers, bestückt mit Relaisröhren mit einem Starter, ist aus **Bild 3–119** ersichtlich. Der besseren Übersicht wegen sind lediglich die drei ersten und die beiden letzten Stufen gezeichnet. Im Ruhezustand des Zählers ist Röhre 0 gezündet, ihr Anodenstrom erzeugt am Anodenwiderstand R_a einen so hohen Spannungsabfall, daß keine weitere Röhre mehr zünden kann. Zugleich entsteht durch den Röhrenstrom am Katodenwiderstand R_{k0} ein Spannungsabfall, der über den Starterwiderstand R_{st1} als positive Vorspannung am Starter der Röhre 1 liegt und diese für die Zündung vorbereitet. Die Zündung der Röhre 1 erfolgt, sobald über den Koppelkondensator C_{st} auf den Starter ein positiver Zählimpuls gegeben wird, der zusammen mit der bereits anliegenden Startervorspannung nunmehr die Zündspannung überschreitet und die Zündung auslöst. Die übrigen Röhren erhalten zwar ebenfalls einen Zählimpuls, der allerdings unwirksam bleibt, weil er allein

für sich zur Zündung nicht ausreicht. Hat Röhre 1 gezündet, muß ihr Strom zunächst den Katodenkondensator C_{k1} aufladen, und die Spannung am R_a fällt kurzzeitig um den Betrag der Katodenspannung U_{k0} ab. Da der Katodenkondensator C_{k0} während dieser Zeit nun aber noch teilweise aufgeladen ist, sinkt die an Röhre 0 liegende Anodenspannung unter die Brennspannung, und die Röhre 0 verlöscht.

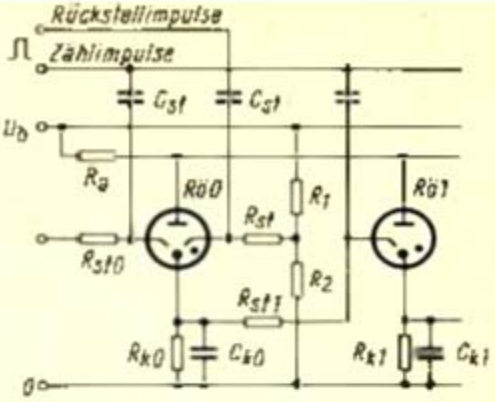


Bild 3–120 Variante einer Nullstellungsschaltung. Die Bauelemente-Kennzeichnung entspricht der in Bild 3–119

Bei Beginn einer Zählung müssen sämtliche Dekaden des Zählers auf Null stehen, d. h. in den Zählringen müssen die 0-Röhren gezündet sein, damit die nachfolgenden Röhren 1 zur Zündung vorbereitet sind. Die Rückstellung der Dekaden auf Null kann manuell mit Tastern oder elektrisch vorgenommen werden, beispielsweise immer dann, wenn der Zähler seine maximale Zählkapazität [seine Höchstzahl] erreicht hat. Die Nullstellung wird dadurch ausgelöst, daß die Starter aller 0-Röhren einen in Spannung und Dauer für die Zündung ausreichenden „*Rückstellimpuls*" erhalten. Zur Erzeugung und Einkopplung dieser Impulse gibt es verschiedene Schaltungsmöglichkeiten. Zu den einfachsten Rückstellschaltungen gehört die in **Bild 3–120** angegebene Variante, die für die Schaltung in Bild 3–119 bestimmt ist. Hier wurde die Nullröhre lediglich durch einen Typ mit *zwei* Startern ersetzt, von denen der eine die Zählimpulse und der andere die Rückstellimpulse aufnimmt. Weitere Rückstellschaltungen enthalten die Schaltbeispiele für Dekadenzählröhren.

Soll ein Zähler nicht nur in Vorwärtsrichtung – wie der in Bild 3–119 – sondern auch *rückwärts* zählen, kommen Relaisröhren mit *zwei symmetrischen Startern* zur Verwendung (**Bild 3–121**). Über zwei getrennte Eingänge werden dem einen

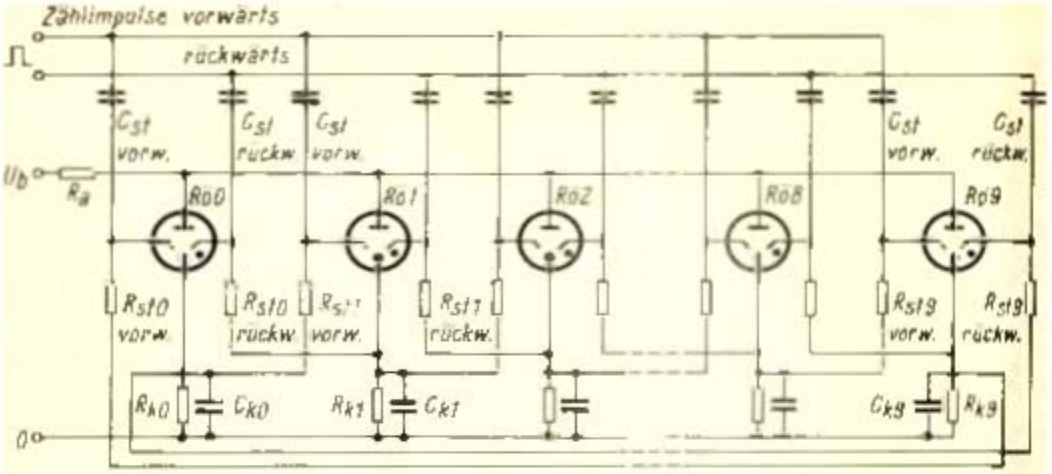


Bild 3–121 Funktionsschaltung eines vor- und rückwärts zählenden Ringzählers

Starter die Vorwärtsimpulse und der zweiten Starterelektrode die Rückwärtszählimpulse zugeführt. Im prinzipiellen Schaltungsaufbau sind Vor- und Rückwärtszähler gleich, auch der Zählmechanismus ist derselbe. Ein Vor- und Rückwärtszähler benötigt für den zweiten Starter nur zusätzliche Starterwiderstände und Koppelkondensatoren.

Als Schaltungsbeispiel gibt **Bild 3-122** drei Stufen eines Vor-Rückwärtszählers mit der Relaisröhre Z 70 W [Val] wieder. Diese Röhre besitzt eine Hilfselektrode für eine Vorentladung, die zur Zünderleichterung beiträgt; die Röhre spricht schneller an und erreicht Zählfrequenzen bis maximal 5000...6000 Hz. Allerdings hängt die maximale Zählfrequenz auch noch von den Werten und Toleranzen der Bauelemente und von der Stabilität der Betriebsspannung ab. Die Rechteckimpulse zur Ansteuerung des Zählers sollen bei einer Spannung von 100 V eine Breite von 20 µs aufweisen.

Um einen Zähler zum sicheren Ansprechen zu bringen, werden von den Zählimpulsen ganz bestimmte Eigenschaften verlangt, die von der Zählerschaltung, vom verwendeten Röhrentyp und der verlangten maximalen Zählfrequenz abhängen. So sollen die Impulse eine – für die Dauer der Zählung möglichst konstant bleibende – *Mindestamplitude* sowie eine bestimmte *Form* und

Länge aufweisen. Manchmal ist auch die Flankensteilheit der Impulse von Bedeutung.

Solche idealen Impulse stehen am Zählereingang nur selten zur Verfügung; meistens liefern die Signalquellen Impulse mit schwankender Amplitude und/oder unterschiedlicher Länge und Form; auch die Anstiegsflanken entsprechen nicht immer den Ansprüchen der Schaltung. Deshalb werden bei fast allen Zählern zwischen den Signalquellen (welche die Ursprungssignale liefern) und dem Zählereingang *Impulsformerstufen* eingefügt. Diese haben die Aufgabe, die ursprünglichen Signale so zu korrigieren, daß die den Zähler ansteuernden Impulse der Zählschaltung, der Zählröhre und der Zählfrequenz optimal angepaßt sind. Über die jeweils verlangte Impulsform geben die Datenblätter der Zählröhren Auskunft.

Eine der einfachsten Impulsformer ist die *Begrenzungsschaltung mit vorgespannter Diode* (Diodenbegrenzer), die aus spitzen Sägezahnimpulsen durch Abschneiden der Impulsspitzen ein trapezähnliches Signal gewinnt. Voraussetzung sind jedoch eine ausreichende Flankensteilheit und genügende Amplitude der Sägezähne. Werden sehr kurze Impulse benötigt, besteht der Impulsformer zweckmäßig aus einer *Sperrschwingerschaltung*. Besitzen die Ursprungssignale steile Flanken, geschieht ihre Korrektur zu Rechteckimpulsen vorteilhaft mit *Multivibratoren* vom mono- oder bistabilen Typ. Überwiegend wird der mono-

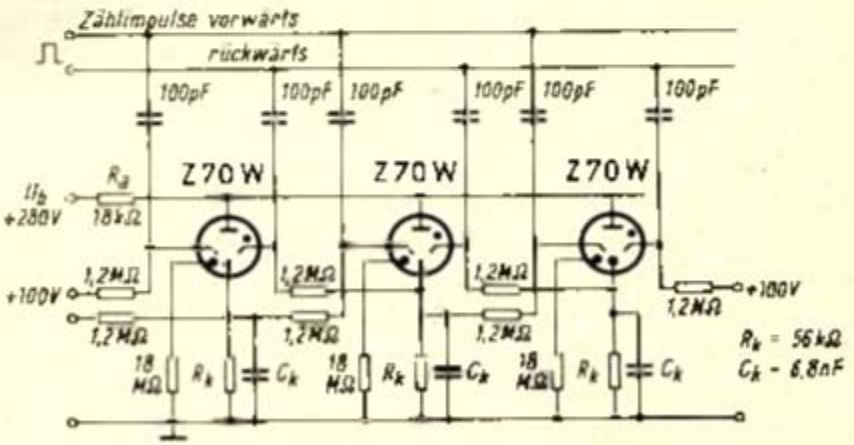


Bild 3–122 Vor-Rückwärts-Zählschaltung mit der Relaisröhre Z 70 W (Val)

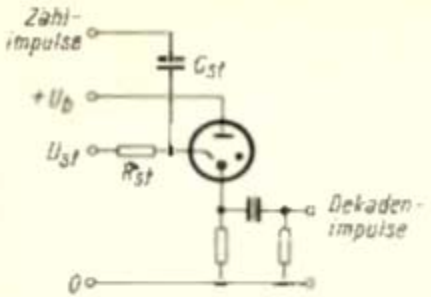


Bild 3–123 Prinzip einer Impulsformerstufe

stabile Multivibrator gewählt, da sich bei diesem die Rechteckimpulse sowohl in der Länge als auch in der Amplitude innerhalb eines breiten Bereiches einstellen lassen. Schließlich gehört zu den Impulsformern noch der *Schmitt-Trigger*, dessen Eingangssignale beinahe beliebige Formen aufweisen können, und der auch mit langsam ansteigenden Spannungen und Sinusspannungen anzusteuern ist. Ausgangsseitig liefert der Schmitt-Trigger Rechtecksignale hoher Flankensteilheit mit einer von der Eingangsspannung unabhängigen Amplitude. Die Dauer der Ausgangsimpulse ist durch die Form der Eingangssignale gegeben.

Bei allen angeführten Impulsformern handelt es sich um Schaltungen, die in der Elektronik allgemein bekannt sind. Sie können mit Röhren mit geheizter und kalter Katode sowie mit Transistoren aufgebaut werden. Beispiele für Impulsformer enthalten die weiter unten folgenden Dekadenzählröhren-Schaltungen.

Zur Übertragung der *Dekadenimpulse* von einer Dekade auf die nachfolgende werden ebenfalls Impulsformer herangezogen (vgl. **Bild 3–118**). Da diese *zwischen* den Dekaden liegenden Schaltungen die Dekadenringe gewissermaßen miteinander verkoppeln, nennt man sie sehr oft auch *Koppelstufen*.

Das Prinzip einer mit einer Kaltkatoden-Relaisröhre bestückten Impulsformerstufe ist in **Bild 3–123** gezeichnet. Die Röhre erhält ihre Zählimpulse über den Kondensator C_{St} und ihre Startervorspannung über den Eingang U_{St} von der Röhre 9 der vorangehenden Dekade. Die Zündung der Röhre und damit die Erzeugung des Dekadenimpulses erfolgt also immer erst dann, wenn die Vorspannung am Starter anliegt *und* der 10. Impuls eintrifft, der zu gleicher Zeit die Entladung von Röhre 9 der Vordekade wieder auf Röhre 0 zurückschaltet.

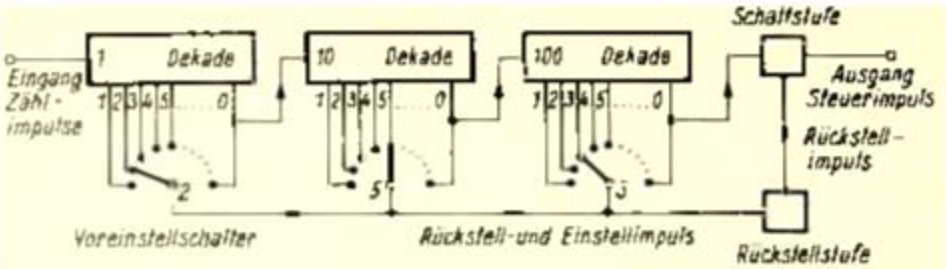


Bild 3-124 Vereinfachte Blockschaltung eines Dreidekadenzählers mit Voreinstellung (Vorwahl). An den Stufenschaltern ist die Zahl 352 eingestellt

In vielen Fällen haben Zähleinrichtungen nicht nur die Aufgabe, laufend vor- und/oder rückwärts zu zählen, sondern bei einem bestimmten – vorher eingestellten – Zählerstand die Zählung zu beginnen oder zu beenden. Sehr oft wird außerdem bei einer vorgewählten Zahl die Auslösung eines Steuerimpulses zur Betätigung anderer Geräte verlangt; und manchmal soll der Zähler auch nur die Differenz zwischen einer und einer zweiten voreingestellten Zahl registrieren. In allen diesen Fällen kann der Zählvorgang entweder *einmalig* ablaufen, worauf der Zähler wieder in die Nullstellung zurückgeht, oder sich *laufend wiederholen*. Den ersten Vorgang nennt man einmalige Vorwahl, den zweiten Vorgang *automatische* Vorwahl.

Zur Durchführung einer Vorwahl bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Die erste ist in der vereinfachten Blockschaltung in **Bild 3-124** skizziert. Die dem Zähler ausgangsseitig angefügte Schaltstufe zündet und gibt einen Steuerimpuls ab, sobald sämtliche Ringzähler die Stellung Null zeigen. Soll der Steuerimpuls früher, z. B. schon nach 648 Impulsen, erscheinen, dann darf die Zählung nicht bei Null beginnen, sondern bei der zur maximalen Zählkapazität komplementären Differenzzahl. Bei einem Dreidekadenzähler ist das die Zahl 1000 – 648 = 352, die an den drei Dekaden-Stufenschaltern (Vorwähler), deren Kontakte mit den Startern der Zählröhren verbunden sind, eingestellt wird. Entnimmt man jetzt der Rückstellstufe einen Impuls und führt diesen den drei Vorwahlschaltern zu, kommen die mit den betreffenden Kontakten verbundenen Röhren zur Zündung. Der Zähler stellt sich auf den Stand 352 ein und beginnt von hier ab mit dem Eintreffen der Zählimpulse zu zählen. Nach der Registrierung von 648 Impulsen erreicht der Zähler den Stand 000, und die

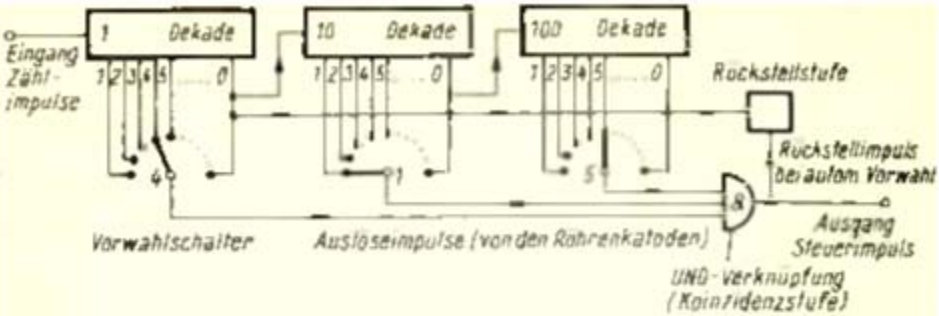


Bild 3–125 Vereinfachte Blockschaltung eines Dreidekadenzählers mit Vorwahl (Koinzidenz-Vorwahl). An den Stufenschaltern ist die Zahl 514 eingestellt

Schaltstufe liefert den verlangten Steuerimpuls. Damit wäre bei *einmaliger* Vorwahl der Zählvorgang beendet. Bei automatischer Vorwahl wird zusammen mit dem Steuerimpuls ein Rückstellimpuls ausgelöst, der dann den Zähler erneut auf die vorgewählte Ausgangsposition (Zahl 352) stellt. Nun wiederholt sich der Vorgang so lange, bis der Zähler abgeschaltet wird.

Trotz der Einfachheit dieser Voreinstellschaltung findet sie wegen der notwendigen Errechnung der Differenzzahl und der damit verbundenen Fehlermöglichkeiten und wegen der Umständlichkeit der Einstellung nur selten Anwendung. An ihre Stelle tritt die im Schaltungsaufbau zwar aufwendigere, in der Einstellung aber wesentlich einfachere Koinzidenz-Vorwahl,

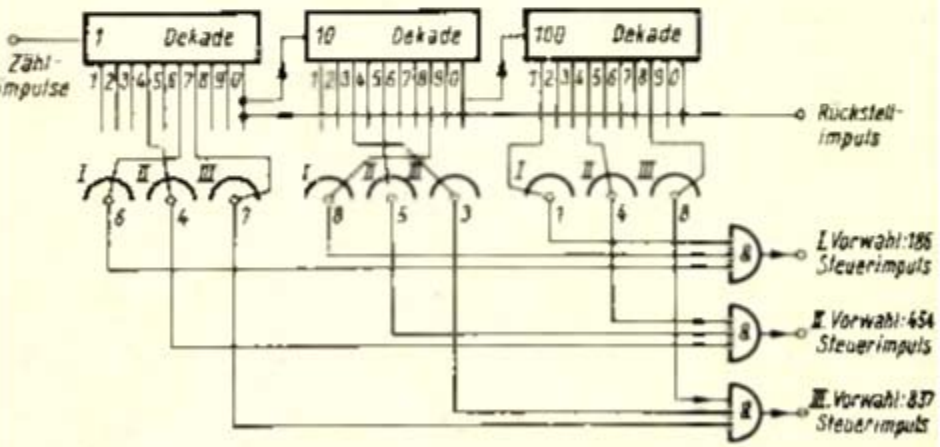


Bild 3–126 Dreifache Koinzidenz-Vorwahl bei einem Dreidekadenzähler. Je Dekade sind drei Vorwähler erforderlich

deren Blockschaltung das **Bild 3–125** wiedergibt. Die Vorwahlziffern lassen sich hier direkt einstellen. Den Röhren werden keine (Zünd-)Impulse zugeführt, vielmehr werden von den Katoden der gezündeten Röhren Impulse abgenommen. Wie aus der Blockschaltung hervorgeht, sind die Dekadenvorwählschalter über getrennte Leitungen mit einer Koinzidenzstufe verbunden, die im Grunde nichts anderes darstellt als eine *UND-Verknüpfung*. Diese liefert erst dann einen Steuerimpuls, wenn *alle* den eingestellten Stufenkontakten zugeordneten Zählröhren gezündet haben, d. h. wenn der Zählerstand die vorgewählte Zahl (in unserem Beispiel 514) erreicht hat. Auch bei der Koinzidenz-Vorwahl ist selbstverständlich eine einmalige wie auch eine sich wiederholende automatische Vorwahl möglich. Zudem bietet die Koinzidenz-Vorwahl den Vorteil, daß ein Zähler mit mehreren Vorwählern ausgestattet werden kann. In **Bild 3–126** ist die vereinfachte Blockschaltung eines Dreidekadenzählers mit *drei* Vorwahlmöglichkeiten zu sehen, wozu für *jede* Dekade je drei Vorwahl-Stufenschalter notwendig sind.

Koinzidenzstufen lassen sich mit Röhren oder Halbleitern bestücken. Eine UND-Schaltung mit Kaltkatoden-Relaisröhren wurde bereits in Bild 3–72 gezeigt. Überwiegend werden heute für die UND-Stufen in Zähleinrichtungen Halbleiter gewählt, meistens in Form von Digitalbausteinen oder integrierten Schaltkreisen. Ein Schaltungsprinzip mit einem Dioden-UND-Gatter bringt **Bild 3–127**. Die Relaisröhre kann hier nur dann zünden, wenn die UND-Bedingung erfüllt ist, d. h. wenn *alle* Dioden gesperrt sind. An die Stelle des Relais kann auch ein mechanischer Zähler treten.

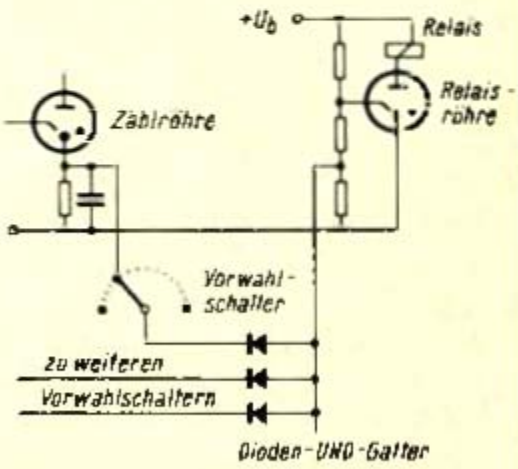


Bild 3–127 Prinzipschaltung einer Koinzidenz-Vorwahl mit Dioden-UND-Gatter

Die *Auswahl der Zählröhren* (und der übrigen

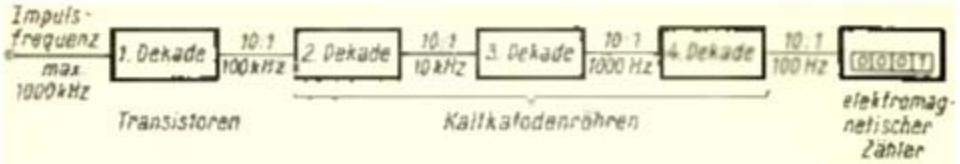


Bild 3–128 Schema eines 1000-kHz-Zählers mit Hybridbestückung

Bauelemente) richtet sich an erster Stelle nach der maximalen Impulsfrequenz, die der Zähler zu verarbeiten hat. Genau genommen, gilt diese Forderung allein für die erste (schnellste) Dekade, denn jede weitere hat nur noch den zehnten Teil der maximalen Zählfrequenz der vorgeschalteten Dekade zu zählen. Beträgt die maximale Zählfrequenz beispielsweise 1000 kHz, ist die erste Dekade, zusammen mit ihrer Eingangsschaltung, dieser Frequenz anzupassen (**Bild 3–128**). Da im ersten Zählring eine Impulsfrequenz-Untersetzung von 10 : 1 erfolgt, braucht die Koppelstufe zur zweiten Dekade und diese selbst nur noch max. 100 kHz zu verarbeiten. Am Eingang der dritten Dekade steht dann eine höchste Zählfrequenz von 10 kHz, die bei der vierten auf 1000 Hz und bei der fünften Dekade auf 100 Hz sinkt. In diesem Fall kann man auf die fünfte Dekade verzichten und wählt dafür ein *elektromechanisches Zählwerk*, das für die Registrierung von max. 100 Imp/s eingerichtet ist. Als Koppelstufe zwischen der letzten Dekade und dem Zählwerk genügt meistens schon ein einfacher Relaisröhren-Verstärker.

Können die für einen Zähler vorgesehenen Relaisröhren die in den ersten Dekaden auftretenden maximalen Zählfrequenzen nicht mehr verarbeiten, sind sie durch Elektronenröhren oder Transistoren zu ersetzen. Eine solche *Hybridbestückung* zeigt das Zählerbeispiel in **Bild 3–128**.

Eine wesentliche Schaltungsvereinfachung der Dekadenstufen und eine beachtliche Einsparung an Bauelementen bringen die Kaltkatoden-*Dekadenzählröhren*, die gewissermaßen zehn Einzelröhren in einem Kolben vereinigen. Diese Röhren werden in zahlreichen Konstruktionen für Vorwärts- und Vor-Rückwärtszählung angeboten. Über Aufbau und Zählmechanismus der wichtigsten Röhrenkonstruktionen ist in Abschnitt 2.4 nachzulesen.

Im ersten Beispiel für eine Zählschaltung mit einer Dekadenzählröhre findet der Typ ZM 1050 [Val] Verwendung. Obwohl dieser Typ in den Listen als Ziffernanzeigeröhre geführt wird, eignet er sich bis etwa 1 kHz auch sehr gut als aktives Zählelement. Bei dieser Röhre ist das obere Anodenblech des Elektrodensystems mit ausgestanzten Ziffern von 0 bis 9 versehen (**Bild 3–129**), so daß sich der jeweilige Zählerstand durch die hinter einer der Ziffernaussparungen brennende Glimmentladung erkennen läßt. Die Elektroden sind so angeordnet, daß bei Einhaltung der vorgeschriebenen Betriebsspannungen immer nur eine einzige Glimmstrecke brennt und die Entladung mit jedem zugeführten Zählimpuls von Stufe zu Stufe weiterwandert. Mit Rücksicht auf die Ansteuermöglichkeit der ZM 1050 über Transistorschaltungen genügen zur Ansteuerung der Zählröhre bereits Zählimpulse mit einer Amplitude von nur 5 V. Stehen auch diese Impulsspannungen nicht zur Verfügung, dann schaltet man der Zählröhre einen *Impulsverstärker* vor. In die Verstärkerstufe in **Bild 3–130** wurde ein Germanium-pnp-Schalttransistor ASY 77 eingesetzt, der mit negativen Impulsen von 0,5 V

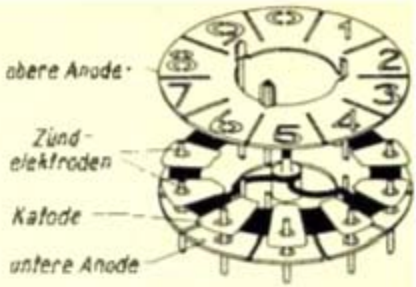


Bild 3–129 Elektrodenaufbau der ZM 1050 [Val]

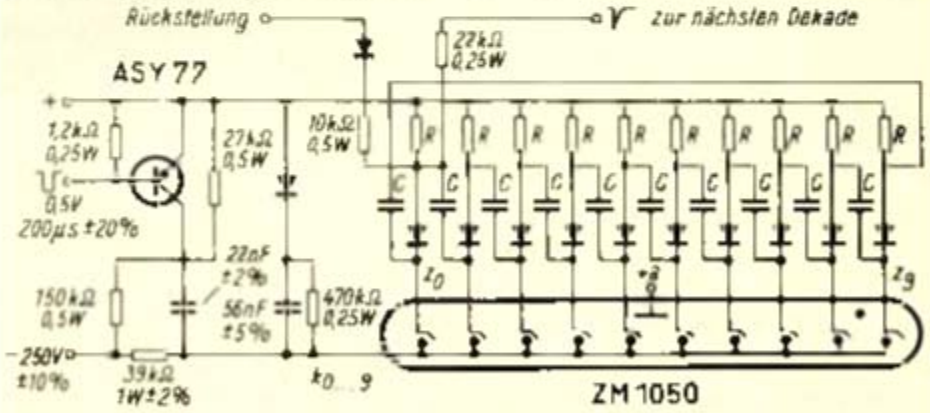


Bild 3–130 Vorwärtszähler für Zählfrequenzen bis 1 kHz mit der Röhre ZM 1050. Transistor-Impulsverstärker. Sämtliche Dioden: OA 95; R = 2,2 kΩ, 0,1 W; Widerstände: ± 5 %; C = 10 nF ± 10 %

± 20 % und einer Breite von 200 µs ± 20 % angesteuert wird. Der bei leitendem Transistor entstehende positive Weiterschaltimpuls gelangt über den 22-nF-Kondensator an die Katoden der Zählröhre. Die Impulslänge ist durch die Zeitkonstante 39 kΩ/22 nF festgelegt und beträgt etwa 180 µs. Beim 10. Impuls zündet die Zündelektrode Null, der Zähler stellt sich auf Null zurück und liefert einen negativen Impuls zur Ansteuerung der nachfolgenden Dekadenröhre.

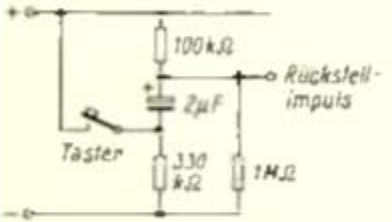


Bild 3–131 Rückstellschaltung für den Zähler in Bild 3–130

Den Rückstellimpuls kann man nach **Bild 3–131** gewinnen, und zwar durch die Entladung der 2-µF-Kapazität, wodurch über die in der Rückstelleitung liegende Diode (Bild 3–130) und den 10-kΩ-Widerstand durch Anheben der Spannung an der Zündelektrode z_0 die Entladung der Strecke ausgelöst wird. Dabei entsteht am 39-kΩ-Widerstand in der Katodenleitung ein so hoher Spannungsabfall, der jede andere Entladung zum Verlöschen bringt.

Die Schaltung in **Bild 3–132** ist mit der Dekadenzählröhre ZM 1070 [Val] für Zählfrequenzen bis max. 5 kHz bestückt, sie ist lediglich durch einfache Umschaltung der Eingangsimpulse für Vor- und Rückwärtszählung zu betreiben. Der für die Ansteuerung notwendige *Doppelimpuls* für die beiden Hilfskatodengruppen k_A und k_B kann in einer Eingangsschaltung nach **Bild 3–133** erzeugt werden. Die Amplitude der Zählimpulse muß > 30 V sein und eine Flankensteilheit von $> 10^8$ V/s aufweisen. Das negative Ausgangssignal des als Multivibrator geschalteten Impulsformers gelangt über die 0,02-µF-Kapazität an die Hilfskatoden k_A. Die Abspaltung des zweiten Steuerimpulses für die Hilfskatodengruppe k_B erfolgt in einer aus dem RC-Integrierglied bestehenden Verzögerungsschaltung. Die positive Vorspannung für die Hilfskatoden, die ein nicht erwünschtes Über-

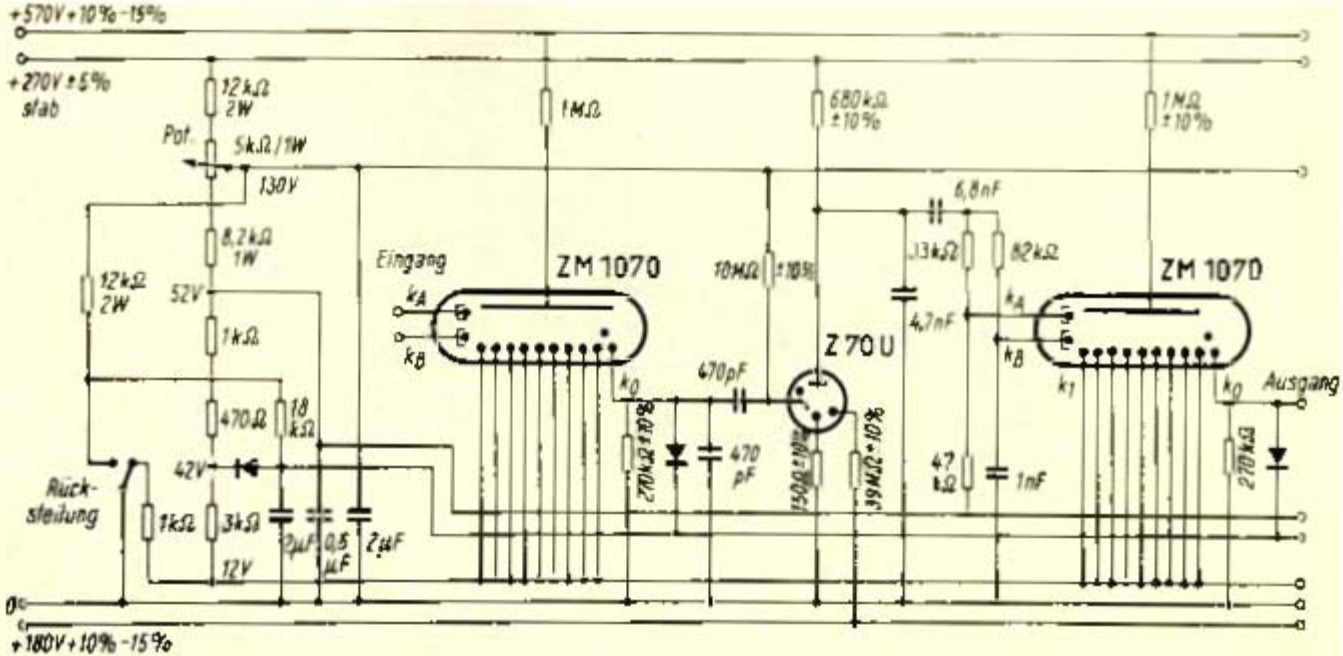


Bild 3–132 400-Hz-Zähler mit der ZM 1070. Sämtliche Dioden: OA 202; Widerstände ohne nähere Bezeichnung: 0,25 W, 7 %; Kondensatoren: ± 10 %

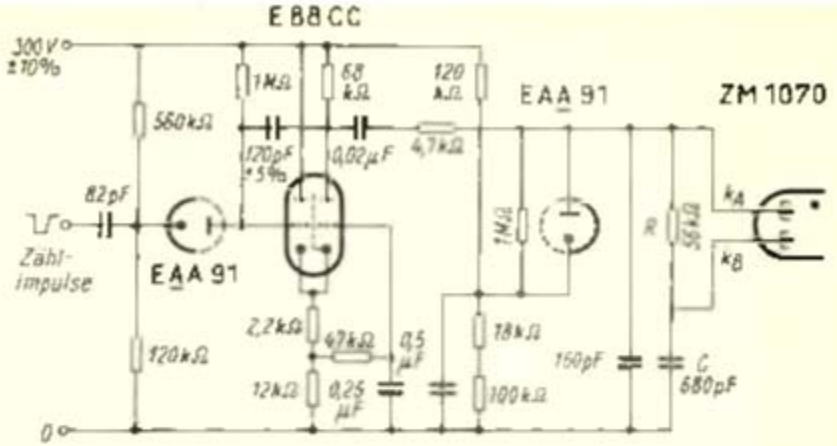


Bild 3–133 Ansteuerung der ZM 1070. R/C = Integrationsglied zur Erzeugung des Doppelimpulses. Alle Widerstände: ± 5 %

springen der Entladung von den Hauptkatoden auf die Hilfskatoden verhüten soll, wird an einem Spannungsteiler abgegriffen.

Die sich an die Eingangsstufe (Bild 3–133) anschließende Zählschaltung (Bild 3–132) wurde für eine maximale Impulsfrequenz von 400 Hz ausgelegt. Sie arbeitet mit zwei Dekadenstufen und einer mit dem Typ Z 70 U besetzten Koppelstufe. Durch die zweifache Frequenzuntersetzung von 10 : 1 steht am Ausgang der zweiten Dekade eine Zählfrequenz von max. 4 Hz, deren Registrierung dann ein elektromechanischer Zähler übernehmen kann. Zum Betrieb des Zweidekadenzählers reichen drei Speisespannungen (570 V, 270 V und 180 V) aus.

Mit zu den schnellsten Dekadenzählröhren gehört der Typ EZ 10 B (Ele). Die mit schräggestellten Katoden ausgestattete

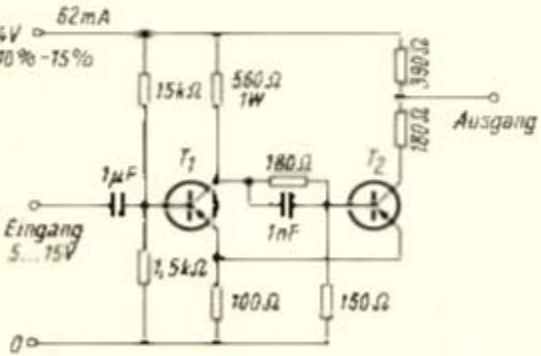


***Bild 3–134** Schmitt-Trigger-Impulsformerstufe für die EZ 10 B. T_1, T_2 = 2 N 1305 (Texas) oder äquivalente Typen; Widerstände: 0,5 W, 10 %. Unterschreitet die Impulsfrequenz des Eingangssignals den Wert von 10 bis 5 Hz, entfällt der 1-µF-Kondensator am Eingang*

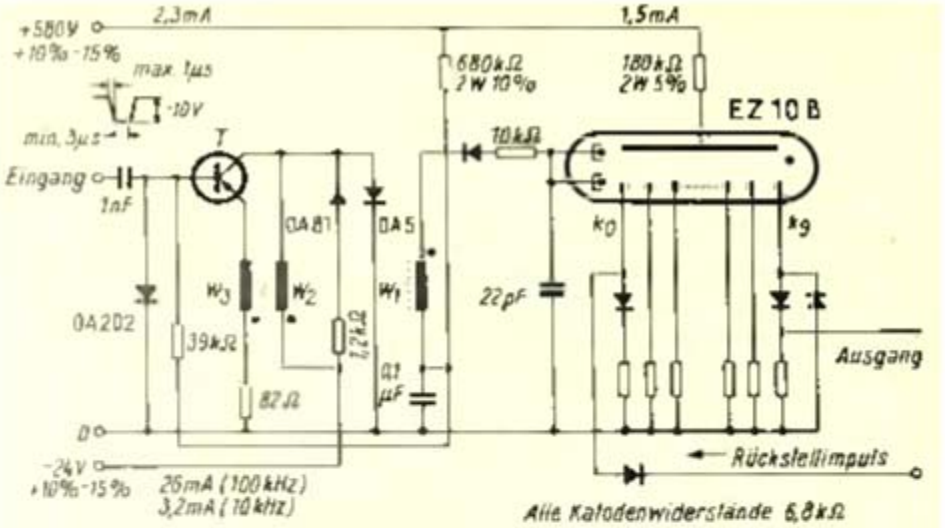


Bild 3–135 100-kHz-Zählstufe mit der EZ 10 B. T = 2 N 1377 oder äquivalenter Typ. Dioden ohne Bezeichnung: OA 81 oder äquivalenter Typ; Widerstände ohne nähere Angaben: 0,5 W, 10 %; Transformator-Daten s. Bild 3–137

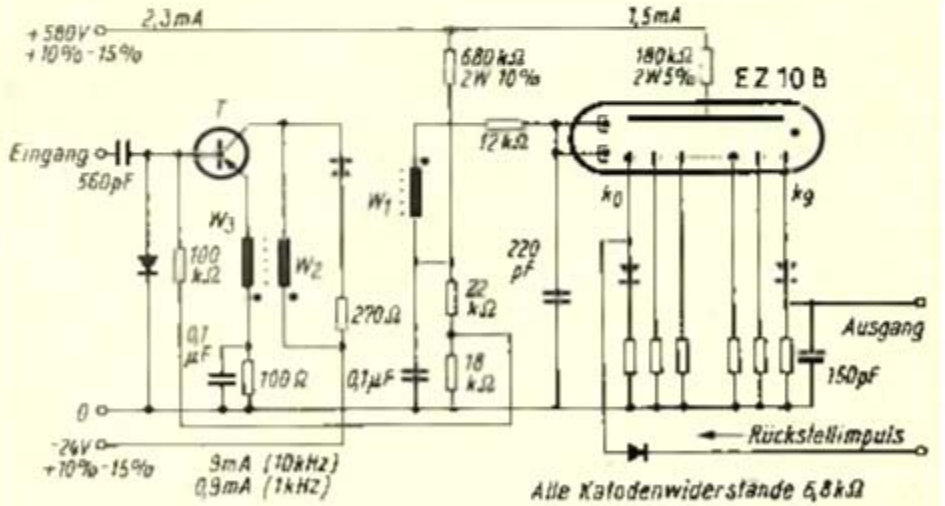


Bild 3–136 10-kHz-Zählstufe mit der EZ 10 B. T = 2 N 1305 oder äquivalenter Typ; alle Dioden: OA 81 oder äquivalenter Typ; Widerstände ohne nähere Angaben: 0,5 W, 10 %; Transformator-Daten s. Bild 3–137

und mit einer speziellen Gasmischung gefüllte Röhre erreicht Zählfrequenzen bis max. 1 MHz. Wegen der Asymmetrie ihrer Elektroden ist allerdings *nur eine Zählrichtung* möglich. Für die Ansteuerung erweisen sich Rechteckimpulse am günstigsten. Impulsformer und Zwischenverstärker werden zweckmäßig als Multivibratoren oder Sperrschwinger aufgebaut. Bei den kürzesten Impulsen (0,5 µs) sollen die Flankenanstiegs- und -abfallzeiten mindestens 10^{-7}s betragen, bei längeren Impulsen empfiehlt sich eine Verlängerung bis auf etwa 10 % der gesamten Impulsdauer (max. 1 ms). Für die Impulse gelten annähernd die folgenden Werte:

Impulsdauer	Zählfrequenz max.	Impulsamplitude	Hilfskatoden-Vorspannung
5 µs	100 kHz	100...200 V	65 V
1 µs	500 kHz	200 V	80 V
0,5 µs	1 MHz	220 V	120 V

Bei so hohen Impulsspannungen lassen sich Transformatoren kaum umgehen, so daß mit gewissen Verzerrungen zu rechnen ist. Deshalb ist es von Vorteil, die jeweils empfohlenen Werte für Amplitude, Dauer und Flankensteilheit der Ansteuerungsimpulse möglichst einzuhalten.

Als praktisches Anwendungsbeispiel für die Zählröhre EZ 10 B folgen anschließend die Schaltungen für die beiden ersten Dekaden eines *100-kHz-Vorwärtszählers* mit den wichtigsten Hilfsstufen. Zur Erzeugung der steilflankigen Rechteckimpulse dient ein transistorisierter Schmitt-Trigger (**Bild 3—134**), der mit negativen Impulsen von 5 bis 15 V angesteuert wird. Die vom Impulsformer gelieferten Ausgangsimpulse haben eine Amplitude von 14 V und können sowohl eine 100-kHz- als auch eine 10-kHz-Dekade ansteuern.

Die erste (schnellste) Dekade des 100-kHz-Zählers (**Bild 3—135**) hat die maximale Zählfrequenz zu verarbeiten und muß dafür ausgelegt sein. Sie enthält am Eingang einen als Sperrschwinger geschalteten Transistor, dem sich der Impulstransformator mit seinen Bedämpfungsmitteln anschließt. Die nachgeschaltete 10-kHz-Dekade (**Bild 3—136**), die selbstverständlich auch am Anfang eines 10-kHz-Zählers stehen kann, unterscheidet sich von der

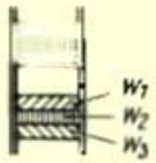
Bild 3–137 *Transformator für die EZ 10 B-Zählstufen. S-Schalenkern S 14/8 [Val], Material: 3 B 2, ohne Luftspalt, ohne Abgleichstift*

100-kHz-Stufe:

W_1	400 Wdg.	0,065	CuL
W_2	80 Wdg.	0,1	CuL
W_3	15 Wdg.	0,1	CuL

10-kHz-Stufe:

W_1	1200 Wdg.	0,065	CuL
W_2	200 Wdg.	0,1	CuL
W_3	70 Wdg.	0,1	CuL



100-kHz-Zählerstufe durch die einfachere Dämpfung des Transformators, die durch die niedrigere Impulsfolgefrequenz bedingt ist. Die Ansprechempfindlichkeit der zweiten Dekade liegt so hoch, daß sie mit dem Ausgangsimpuls der vorgeschalteten Zählstufe mit Sicherheit angesteuert werden kann. In beiden Dekaden sind im Katodenkreis der EZ 10 B die Schaltelemente für die Ankopplung der Folgestufen und für die Nullrückstellung des Zählers eingebaut.

Die Rückstellimpulse sollen eine Amplitude von etwa 80 V und eine Dauer von mindestens 100 µs besitzen, von den Impulsflanken werden Anstiegszeiten von > 10 µs verlangt. Eine einfache Rückstellschaltung gibt **Bild 3–138** wieder. Hier entsteht der Rückstellimpuls durch Entladung des 0,5-µF-Kondensators, er wird am 100-kΩ-Widerstand abgenommen und über eine Diode in die Katode k_0 der EZ 10 B eingespeist.

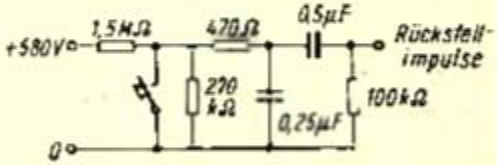


Bild 3–138 Rückstellschaltung. Widerstände: 0,5 W, 10 %

Will man auf Impulstransformatoren verzichten, dann sind Dekadenzählröhren auszuwählen, die mit *niedrigeren* Impulsamplituden – etwa zwischen 15 und 25 V – angesteuert werden können.

Zur *Vergrößerung der Zählkapazität* wird an die letzte Untersetzerstufe des Zählers, d. h. an die langsamste Dekade, sehr oft *ein mehrstelliges elektromagnetisches Zählwerk* angeschlossen. An welche Dekade das Zählwerk anzuschließen ist, wie groß also die von der letzten Dekade gelieferte Impulsfrequenz sein kann, das hängt von der maximalen Impulsfrequenz ab, die das

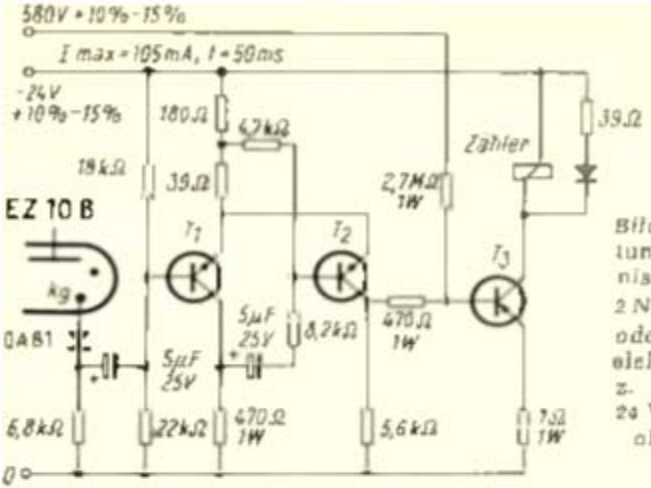


Bild 3–139 Verstärkerschaltung für eine elektromechanische Zählerstufe. T_1, T_2 = 2 N 1302 (Texas), T_3 = OC 28 oder äquivalente Typen; elektromechanischer Zähler: z. B. Sodeco TC8 Z 6 E, 24 V$_=$, 350 Ω; Widerstände ohne Belastungsangabe: 0,5 W

Zählwerk noch mit Sicherheit registrieren kann. Die derzeit erreichbaren höchsten Schaltfrequenzen für elektromagnetische Zähler liegen bei 100 Imp/s. Im Interesse einer langen Lebensdauer des Zählwerkes ist es allerdings vorteilhafter, den Zähler mit einer unter seiner maximal zulässigen Impulsfrequenz liegenden Impulszahl zu betreiben. Die Ankopplung des Zählwerkes geschieht stets unter Zwischenschaltung einer Verstärkerstufe (Endstufe). In der an die Zählröhre EZ 10 B angepaßten Schaltung in **Bild 3–139**, die maximal 2 Imp/s zählen kann, sind die als Multivibrator aufgebaute Treiberstufe und die sich anschließende Leistungsstufe mit Transistoren bestückt. Als Zählwerk ist eine Ausführung für 24 V$_=$ (I max = 0,5 A) vorgesehen.

In den meisten Fällen ist bei Zählern eine optische oder elektrische Erfassung des jeweiligen Zählerstandes erwünscht. Die *elektrische Ablesung* geschieht überwiegend durch Auswertung des am Katodenwiderstand („Ablesewiderstand") einer gezündeten Entladungsstrecke entstehenden Spannungsabfalls, der beispielsweise als Signalimpuls für die Vorwahl oder – nach genügender Verstärkung – als Steuerspannung für Relais und andere Geräte dienen kann. Bei höheren Zählfrequenzen sind die Ablesewiderstände zweckmäßig kapazitiv zu überbrücken.

Zur *optischen* Ablesung des Zählerstandes wird das Glimmlicht der brennenden Entladung ausgenutzt. Bei einem aus *einzelnen* Relaisröhren bestehenden Ringzähler ordnet man die zehn

Röhren einer Dekade untereinander an und deckt sie mit einer Frontplatte mit durchsichtigen, bezifferten Fenstern nach **Bild 3–140** ab. Den momentanen Zählerstand zeigt dann das vom Glimmlicht der brennenden Röhre erleuchtete Fenster an. Soll der Stand eines Ringzählers aus Einzelröhren mit einer Ziffernanzeigeröhre abgelesen werden, ist diese so anzuschalten, daß ihre zehn Entladungsstrecken Ziffernkatode → Anode mit den Entladungsstrecken der zehn Zählröhren in Serie liegen. Die Speisespannung für die Anzeigeröhre muß dabei um den Betrag der Brennspannung der Ringzählröhre höher sein als ihre datenmäßige Betriebsspannung.

Kein Ableseproblem besteht bei den Dekadenzählröhren, die ihren Stand durch eingebaute oder aufgesetzte Ziffernringe (vgl. Bild 2–40) selbst anzeigen. Ableseschwierigkeiten ergeben sich nur dann, wenn die verhältnismäßig kleinen Ziffern der Röhre auf größere Entfernungen nicht mehr deutlich genug zu erkennen sind. Manchmal wird auch eine getrennte Anzeige an einem zweiten Ort verlangt. In solchen Fällen wird der Zählröhre (als aktives Bauelement) eine Ziffernanzeigeröhre (als passives Element) beigegeben. Zu deren Ansteuerung dient dann wieder der positive Spannungsabfall am Katodenwiderstand der brennenden Entladungsstrecke oder die an speziellen Ausgangselektroden anliegende – meist positive – Spannung. Da jedoch die Mehrzahl der Ziffernanzeigeröhren eine so hohe Ansteuerspannung verlangt, wie sie eine normale Dekadenzählröhre nicht zu liefern vermag, besteht die Notwendigkeit, in jede Zuleitung zu den Zählröhrenkatoden zusätzliche Verstärkerelemente einzufügen. Zwei Schaltungsbeispiele für die Ansteuerung der Anzeigeröhre ZM 1020 durch die Dekadenzählröhre EZ 10 B über Transistor-Zwischenverstärker wurden bereits in den Bildern 3–18 und 3–19 angegeben.

Dieser Zusatzaufwand an Bauelementen entfällt bei der Dekadenzählröhre Z 572 S [WF], die eine Ziffernanzeigeröhre (z. B. die Z 560 M [WF]) ohne Einsatz von verstärkenden Elementen *direkt* ansteuern kann. Das System der Z 572 S – eine vor- und rückwärtszählende Röhre mit symmetrischem Elektrodenaufbau – enthält neben den 30 konzentrisch um die Anode aufgebauten Haupt- und Hilfskatoden auf einem zweiten Teilkreis noch zehn

Bild 3–140 Ablesemöglichkeit bei einem Dekaden-Ringzähler, bestehend aus einzelnen Relaisröhren

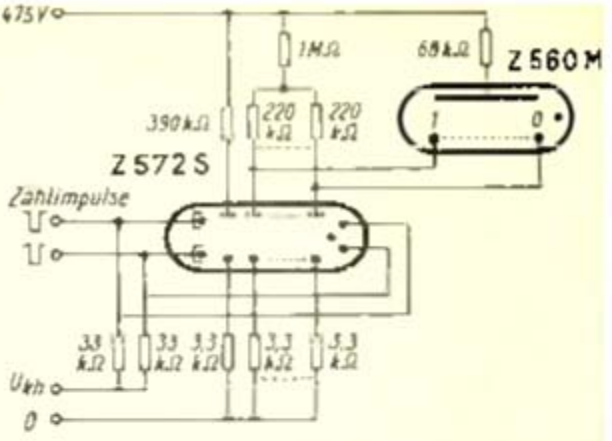


Bild 3–141 Prinzipschaltung der Dekadenzählröhre Z 572 S [WF] in Verbindung mit der Anzeigeröhre Z 560 M [WF]

weitere *Schaltanoden*, die jeweils einer Hauptkatode zugeordnet und von außen über Sockelstifte beschaltbar sind. Die Prinzipschaltung dieser Zählröhre in Verbindung mit einer Ziffernanzeigeröhre ist in **Bild 3–141** wiedergegeben. Die Schaltanoden sind direkt mit den Ziffernkatoden verbunden und können für deren Ansteuerung bis zu 2 mA Strom aus der gezündeten Entladungsstrecke herausziehen. Über den 68-kΩ-Anodenwiderstand liegt die Anzeigeröhre an der gleichen Speisespannung, die auch die Zählröhre versorgt. In dem Augenblick, in dem die durch einen Zählimpuls ausgelöste Entladung auf eine Hauptkatode überspringt, entsteht ein negativer Spannungsabfall, und die mit der gezündeten Hauptkatode korrespondierende Entladungsstrecke in der Anzeigeröhre kommt ebenfalls zur Zündung. Da die Schaltanoden auch eine rein ohmsche Belastung vertragen, bietet die Z 572 S den weiteren Vorteil, daß sie auch für andere Steuerzwecke positive wie auch negative Impulse abgeben kann.

Abschließend noch zwei weitere einfache Ansteuerungsmöglichkeiten von Dekaden-Zählringen in Verbindung mit Ziffernanzeigeröhren. In der Zählschaltung nach **Bild 3–142**, die sich durch geringen Stromverbrauch auszeichnet, wird die Ziffernanzeigeröhre GN 6 [SEL] mit *Thyristoren* direkt angesteuert. Die Eingangsimpulse dieser für eine maximale Zählgeschwindig-

keit von 1 kHz ausgelegten Schaltung sollen eine Mindestspannung von + 10 V aufweisen, der Generatorwiderstand beträgt max. 500 Ω.

In dem nächsten, ebenfalls von SEL angegebenen Schaltbeispiel (**Bild 3-143**) erfolgt die Ansteuerung der Anzeigeröhre mit Hilfe von Relaisröhren. Dabei ist ein solcher Röhrentyp zu verwenden, der vom Maximalstrom der Anzeigeröhre durchflossen werden kann und bei dem die Differenz zwischen der Zünd- und der Brennspannung größer ist als die Vorspannung. Mit Rücksicht auf den Spannungsabfall in der Relaisröhre während der Zündung ist eine erhöhte Versorgungsspannung erforderlich. Die Schaltung erreicht eine maximale Zählgeschwindigkeit von 500 Hz und verlangt Eingangsimpulse zwischen 50 und 75 V mit einer Dauer von mindestens 100 µs.

Zu den *elektromechanischen* Ziffernanzeigevorrichtungen gehören die bereits mehrfach erwähnten elektromagnetischen Zählwerke (Rollenzähler), die unter Zwischenschaltung einer Verstärkerstufe an die letzte (langsamste) Zähldekade angeschlossen werden, vorausgesetzt, daß der Zählerausgang eine so niedrige

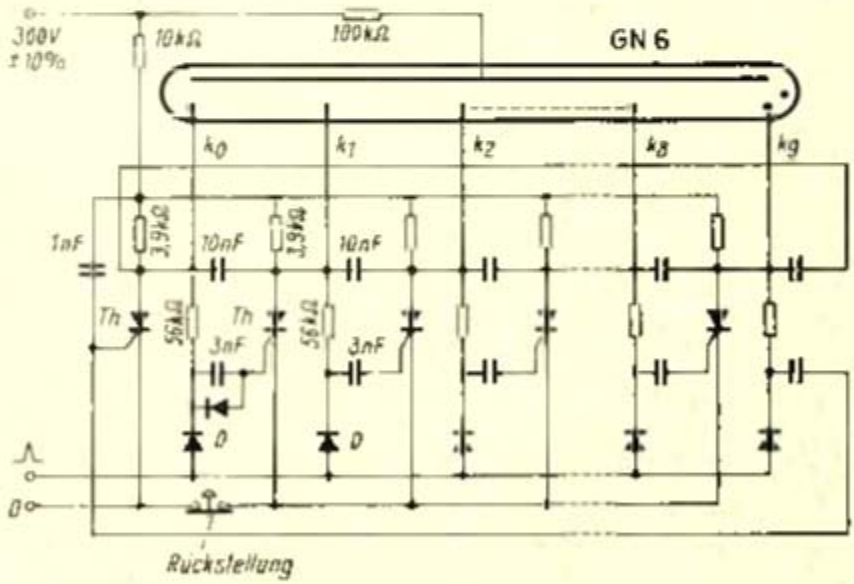


Bild 3–142 Zählschaltung für direkte Thyristoren-Ansteuerung der Ziffernanzeigeröhre GN 6 [SEL]. Sämtliche Thyristoren Th: Intermetall T 0,8 N 2 A 00, sämtliche Dioden D: BAY 19

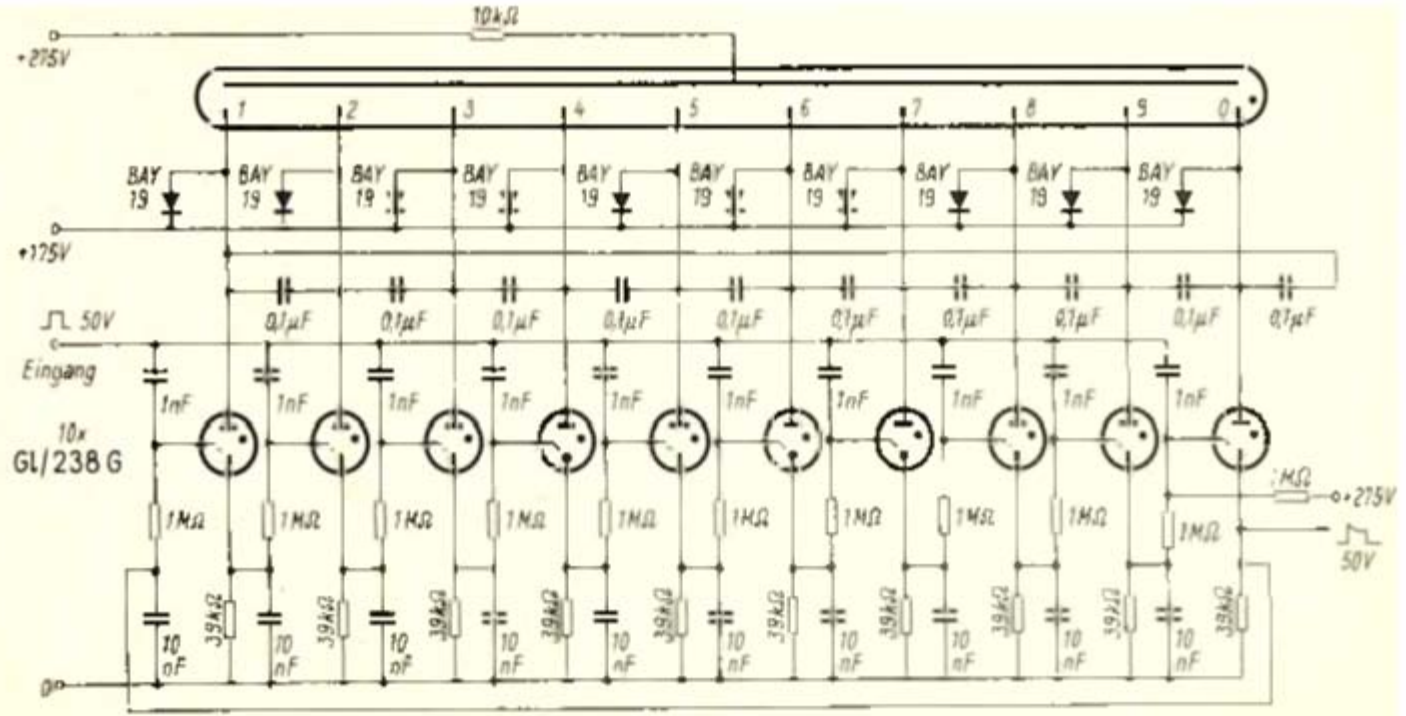


Bild 3–143 Zählschaltung mit Ansteuerung einer Ziffernanzeigeröhre GN 6 (SRL) durch Relaisröhren vom Typ GL/238 G.
Widerstände ± 10 %, Kondensatoren ± 20 %

Impulsfrequenz liefert, die den elektromagnetischen Zählmechanismus mit Sicherheit zum Ansprechen bringt. Elektromechanische Zähler stehen in mehrstelliger Ausführung sowie mit und ohne Nullrückstellung, die manuell oder elektrisch auslösbar ist, zur Verfügung. Besonders helle und klare Ziffernbilder, auch in größeren Schrifthöhen, sind mit den *Leuchtanzeigern* zu erzielen, die nach dem Projektionsprinzip arbeiten. Auch für ihren Betrieb sind zusätzliche Verstärker und eine zusätzliche Spannungsquelle zur Speisung der Projektionslämpchen notwendig.

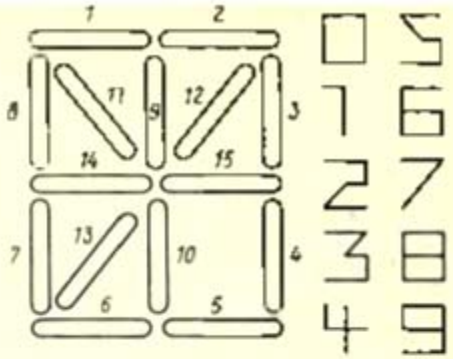


Bild 3–144 *Ziffernskelett aus 15 Glimmlicht-Amplituden- oder Soffittenröhren*

Eine *Großsichtanzeige* des Zählerstandes ermöglichen die aus einzelnen Stabglimmröhren (Amplitudenröhren) zusammengesetzten – mehr oder weniger stilisierten – Ziffern. Ganz besonders eignet sich hierfür die Glimmsoffitte GL 90 (Phi). Das Ziffernskelett einer solchen Einrichtung ist in **Bild 3–144** gezeichnet, es besteht in diesem Fall aus 15 Stabglimmröhren. Bei Inkaufnahme einer weiteren Vereinfachung des Ziffernbildes genügen u. U. auch schon sieben Röhren, die dann in Form einer ⊟ angeordnet werden. Zur Ansteuerung der Röhren dient eine *Widerstandsmatrix* nach **Bild 3–145**, deren Eingangsspannung und Widerstandswerte dem verwendeten Glimmröhrentyp anzupassen sind. Bei Ersatz der Glimmröhren in der Matrix durch Relais- oder Leistungsschaltröhren lassen sich – notfalls mit Zwischenschaltung von Relais – auch Glühlampen, beispielsweise Linestra-Röhren, betreiben, die nicht nur beliebig große, sondern auch sehr helle und auf weite Entfernungen deutlich lesbare Ziffernbilder ergeben.

Eine Abwandlung des Dezimalzählers stellt der *Biquinärzähler* dar, der als ein „2 × 5-Zähler" anzusprechen ist. Die dezimalen Biquinärzähler bestehen aus einem nur *fünf*stufigen Zählring, der

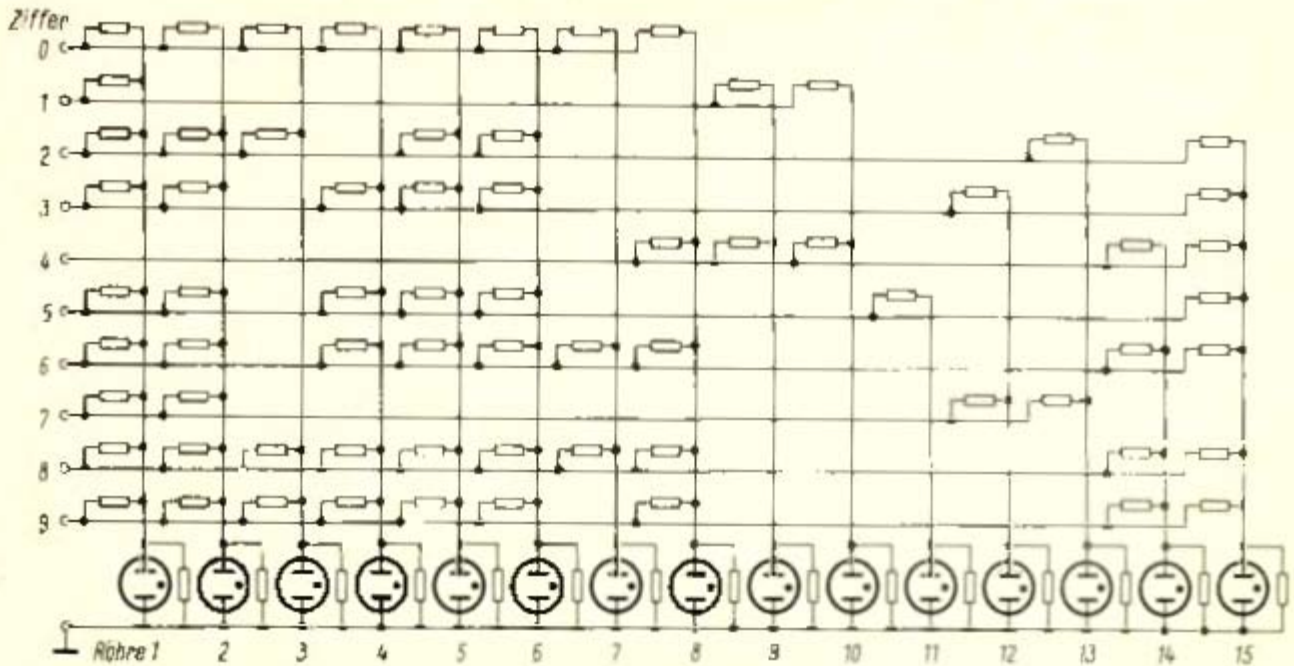


Bild 3–145 Widerstandsmatrix zur Ansteuerung des Ziffernskeletts in Bild 3–144

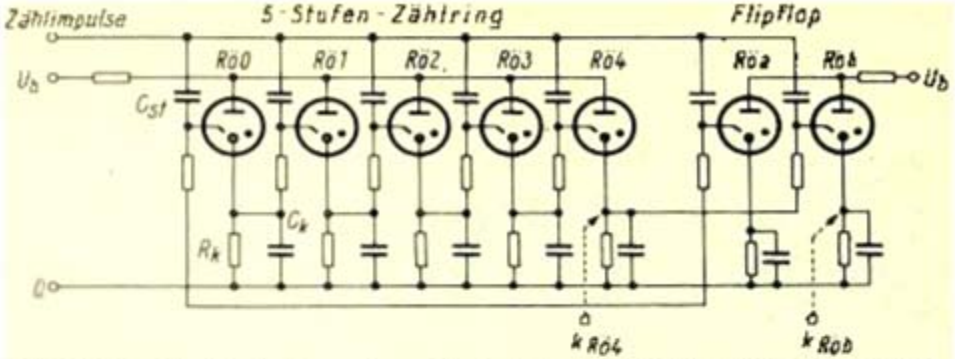


Bild 3–146 *Prinzipschaltung eines Biquinärzählers, bestehend aus einem fünfstufigen Zählring und einem bistabilen Flipflop*

zweimal hintereinander durchlaufen wird, und einem bistabilen Flipflop als elektronischer Umschalter zur Steuerung des zweimaligen Zählring-Durchlaufes. In der Prinzipschaltung des **Bildes 3–146** bilden die Röhren 0 bis 4 den fünfstufigen Zählring und die Röhren a und b das Flipflop. Bei Betriebsbereitschaft des Zählers sind Röhre 0 und Röhre a gezündet. Erscheint jetzt am Eingang der Schaltung ein Zählimpuls, zündet Rö 1 und Rö 0 verlöscht, während sich am Zustand des Flipflops nichts ändert. Anschließend verläuft die Zählung mit jedem eintreffenden Impuls nach dem folgenden Schema normal weiter.

Impuls	Ziffer	Zählring					Flipflop	
		Rö 0	Rö 1	Rö 2	Rö 3	Rö 4	Rö a	Rö b
0	0	L	0	0	0	0	L	0
1.	1	0	L	0	0	0	L	0
2.	2	0	0	L	0	0	L	0
3.	3	0	0	0	L	0	L	0
4.	4	0	0	0	0	L	L	0
5.	5	L	0	0	0	0	0	L
6.	6	0	L	0	0	0	0	L
7.	7	0	0	L	0	0	0	L
8.	8	0	0	0	L	0	0	L
9	9	0	0	0	0	L	0	L
10	(1)0	L	0	0	0	0	L	0

usw. wie oben

Hat beim vierten Zählimpuls Rö 4 gezündet, entsteht auch hier am Katodenwiderstand ein Spannungsabfall, der als positive Vorspannung nicht allein dem Starter der Rö 0 zugeführt wird, die damit zündbereit ist, sondern zu gleicher Zeit auch den

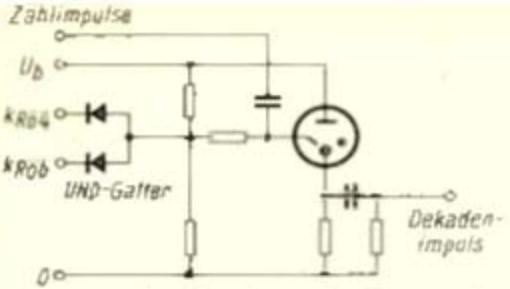


Bild 3–147 *Prinzipschaltung der Koppelstufe (Impulsformerstufe) eines Biquinärzählers. Die am Eingang der UND-Schaltung stehenden Starterspannungen werden in der Zählschaltung 3–140 an den Katoden* $k_{Rö\,4}$ *und* $k_{Rö\,b}$ *abgenommen*

Startern der beiden Flipflop-Röhren a und b. Der fünfte Zählimpuls wird also erneut Rö 0 zum Zünden bringen (der zweite Durchlauf beginnt), im Flipflop jedoch nur Rö b, weil Rö a ja bereits brennt, die dann aber verlöscht. Vom sechsten Zählimpuls ab springt die Entladung dann wie üblich weiter und erreicht beim neunten Impuls wieder Rö 4 des Zählringes.

Der nächste, der zehnte Zählimpuls muß den Dekadenimpuls für die nachfolgende Biquinärdekade auslösen, jedoch nur dann, wenn der zweite Durchlauf beendet ist, d. h. wenn *gleichzeitig* Rö 4 des Zählringes *und* Rö b des Flipflops gezündet sind. Um diese Bedingungen zu erfüllen, führt man dem Starter der Koppelröhre (Impulsformerstufe, **Bild 3–147**) die positive Vorspannung über eine *UND-Schaltung* zu. Die Röhre in der Impulsformerstufe ist mithin nur dann zündbereit, wenn Rö 4 und Rö b brennen, dann kann sie beim Eintreffen des zehnten Zählimpulses zünden und somit den Dekadenimpuls erzeugen und diesen an die Folgedekade weitergeben, die damit auf „1" gestellt wird.

Die *Nullrückstellung* eines Biquinärzählers, bestückt mit Kaltkatodenrelaisröhren, ist leicht dadurch zu erreichen, daß man in sämtlichen Stufen der Nullröhren und ebenso für Röhre a im Flipflop Relaisröhren mit *zwei* Startern verwendet und den zweiten Starter für die Zündung der Röhren durch den Rückstellimpuls benutzt. Mit Zwei-Starter-Relaisröhren sind übrigens auch vor- und rückwärts zählende Biquinärzähler zu realisieren; die Rückstellung kann in diesem Fall jedoch nicht mit Hilfe des zweiten Starters erfolgen, sondern muß auf eine andere Weise vorgenommen werden. – Außer mit Kaltkatodenröhren lassen sich Biquinärzähler selbstverständlich auch mit Elektronenröhren oder mit Transistoren aufbauen.

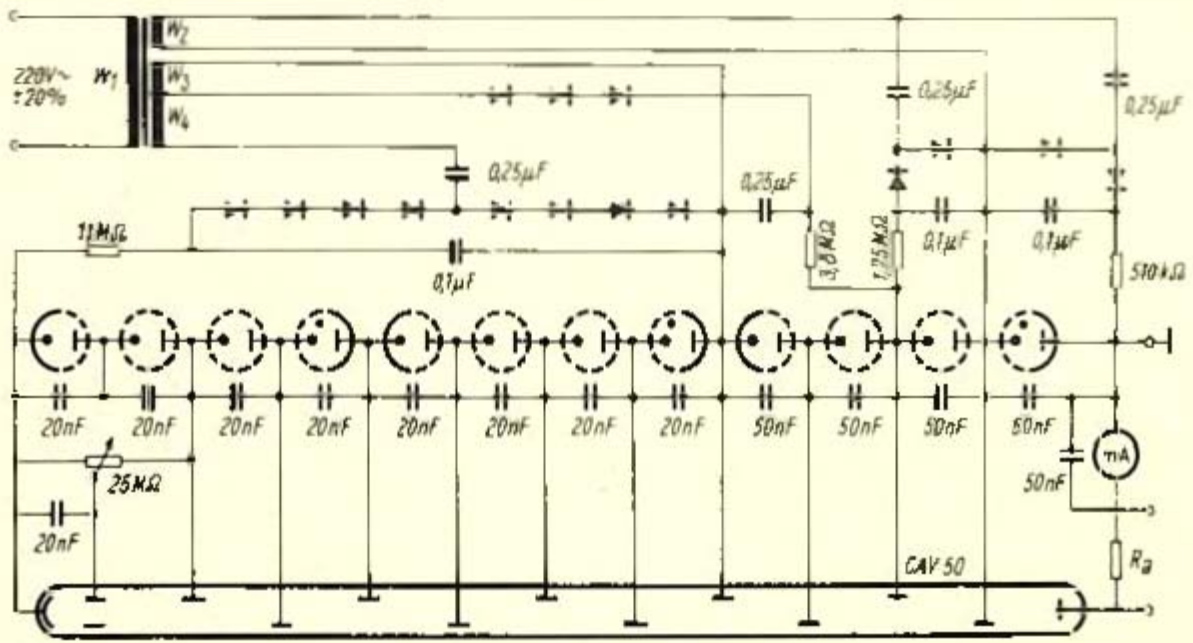


Bild 3–146 Stabilisierung der Stromversorgung für den Fotovervielfacher CAV 50 [Tel] mit drei Stabilisierungsröhren ZZ 1030 (STV 500/0,1) [Tel]

Zur Anzeige des Standes biquinärer Zähler können dekadische oder biquinäre Ziffernanzeigeröhren herangezogen werden. Die Ansteuersignale für die Anzeigeröhren sind im Fünfer-Zählring – wie üblich – an den Katoden der Zählröhren abzugreifen und im Flipflop mit Hilfe von fotoelektronischen Koppelelementen (ähnlich wie in Bild 3–74) zu gewinnen. Bei der Auswahl der Anzeigeschaltungen ist aber darauf zu achten, daß der Vorteil der Biquinärzählung, nämlich die Einsparung an Röhren und Bauelementen, nicht durch erhöhten Schaltungs- und Bestückungsaufwand im Anzeigeteil wieder verlorengeht.

3.2.5 *Spannungsstabilisierungs-Schaltungen*

Die Angabe von Schaltungsbeispielen für die Anwendung von *Einstrecken*-Glimm-Stabilisatorröhren erübrigt sich, weil praktisch *jede* Stabilisierungsschaltung ganz *spezielle* Bedingungen zu erfüllen hat. Entsprechend der Aufgabe einer Stabilisierungsschaltung, die Auswirkungen von Änderungen (Schwankungen) der Speisegleichspannung und von Änderungen des Lastgleichstroms auf die Schaltung (auf die Last-Sollspannung) vollständig oder größtenteils auszugleichen, ergeben sich für jede Schaltung andere Voraussetzungen. Jede Anwendung von Glimm-Stabilisatorröhren verlangt eine – je nach der gewünschten Güte der Stabilisierung – mehr oder weniger genaue *Schaltungsberechnung*. Die Grundlagen für solche Schaltungsberechnungen sind im Abschnitt 2.5 nachzulesen.

An dieser Stelle sollen lediglich zwei Schaltungsbeispiele für die Anwendung der *Vierstrecken*-Spannungsstabilisatorröhre ZZ 1030 (STV 500/0,1) [Tel] gebracht werden, deren Konstruktion mit Bild 2–51 beschrieben ist. **Bild 3–148** zeigt die stabilisierte Stromversorgung für den *Fotovervielfacher* CAV 50 [Tel] mit Hilfe von drei Röhren ZZ 1030, deren insgesamt zwölf Glimmstrecken in Serie geschaltet sind. Die Serienschaltung der Strecken ermöglicht die Stabilisierung der Teilspannungen für die Dynoden bei nur geringen Querströmen, wodurch sich nicht allein ein einfacherer Schaltungsaufbau sondern auch eine Reduzierung des Stromverbrauches ergibt. Zur Anpassung des Glimm-Querstroms an den von Dynode zu Dynode steigenden Vervielfacherstrom werden die beiden ersten Stabilisatorröhren, die

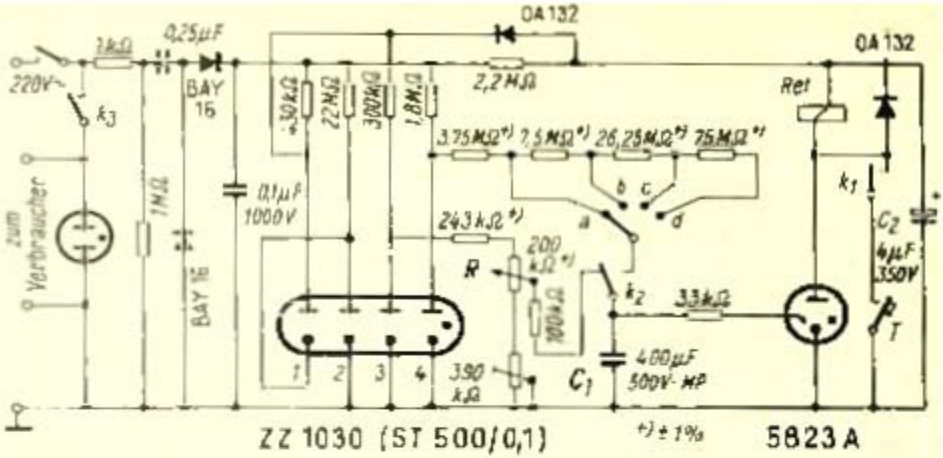


Bild 3–149 Stabilisierung der Vor- und Nachladespannung für den Zeitkondensator in einem elektronischen Zeitschalter. Relaisröhre: 5823 A [Tel]; Stabilisatorröhre: ZZ 1030 [Tel]

beiden ersten Strecken der dritten Röhre sowie deren dritte und vierte Strecke aus getrennten Gleichrichtern über entsprechende Vorwiderstände gespeist. Für den Netztransformator sind folgende Konstruktionsdaten festgelegt:

Kern		M 55	
Primärwicklung	W_1	2750 Wdg.	0,1 CuL
Sekundärwicklung	W_2	3000 Wdg.	0,05 CuL
Sekundärwicklung	W_3	3100 Wdg.	0,05 CuL
Sekundärwicklung	W_4	9000 Wdg.	0,05 CuL

Im letzten Schaltungsbeispiel (**Bild 3–149**) wird die Vierstrecken-Stabilisatorröhre ZZ 1030 [STV 500/0,1] zur Konstanthaltung der Kondensator-Ladespannung eines elektronischen Zeitschalters verwendet. Der Zeitschalter (nach Telefunken-Unterlagen) ist für Schaltzeiten zwischen 3 s und 6 min ausgelegt, wobei der Zeitbereich in vier Stufen aufgeteilt wurde:

Stellung des Umschalters	a	b	c	d
Schaltzeiten [s]	3...12	9...36	30...120	90...360

Der Ladekondensator C_1 erhält eine mit R [200 kΩ] einstellbare Vorspannung und wird nach Einschalten des Zeitschalters über den vom Relais umgelegten Kontakt k_2 aus einer konstanten Spannung von 125 V weiter aufgeladen. Sowohl die Vorlade- als

auch die Nachladespannung liefern die getrennten Glimmstrecken 3 und 4 der Stabilisatorröhre. Die Strecken 1 und 2 liegen in Serie und dienen der Vorstabilisierung der Strecke 3. Die an der Serienschaltung Strecke 1 + Strecke 2 liegende Spannung von 250 V begrenzt gleichzeitig die an der Speicherkapazität C_2 auftretende Spannung auf ebenfalls 250 V und verhütet damit eine unerwünschte Durchzündung der Relaisröhre 5823 A [Tel]. Das Relais vom Typ Trls 6 a TBv 62020/88 b 79 r [Sie] ist mit einem Umkehrfedersatz ausgestattet und kann als Impulsrelais arbeiten. Die Inbetriebnahme des Zeitschalters erfolgt durch Betätigung der Taste T. Ist die eingestellte Verzögerungszeit abgelaufen, zündet die Relaisröhre, womit sich Verbraucher und Zeitschalter wieder ausschalten.

Kurzbezeichnungen der Röhrenhersteller

Die folgende Zusammenstellung enthält die Kurzbezeichnungen nur derjenigen Röhrenhersteller, die im Text und in den Bildunterschriften angeführt sind. Von den ausländischen Firmen unterhält die Mehrzahl in Deutschland eigene Geschäftsstellen oder ist durch Handelsunternehmen vertreten.

Bez	=	Bezet-Werk Hermann Buchholz GmbH, 1000 Berlin 49, Töpchiner Weg 189–199.
Bur	=	Burroughs Corporation, Electronic Component Division, Plainfield, New Jersey (USA).
Cer	=	Cerberus AG Werk für Elektronentechnik, CH-8708 Männedorf (Schweiz).
DGL	=	Deutsche Glimmlampen-Gesellschaft Pressler KG, x 701 Leipzig 1, Berliner Straße 69.
Ele	=	Elesta AG Elektronik, CH-7310 Bad Ragaz (Schweiz).
ERG	=	Elektro-Röhren-Gesellschaft mbH + Co. KG, 3400 Göttingen, Rudolf-Winkel-Straße 2.
Hei	=	Heimann GmbH, 6200 Wiesbaden-Dotzheim, Weher Köppel 6.
Lab	=	Winfried Labudda, Gesellschaft für elektronische Bauelemente mbH, 5650 Solingen, Wupperstraße 84, (Handelsunternehmen).
LIR	=	LIRE, Laboratoire Industriel et de Recherches Electroniques, F-92 Clamart (Seine), Rue des Galvents 69.
Mau	=	Dr. Georg Maurer, Laboratorium für Photoelektronik, SEV- und Gerätewerk, 7442 Neuffen, Max-Planck-Straße 4 und 7.
NEC	=	Nippon Electric Company Ltd., Tokyo (Japan). Europäisches Büro: Brüssel 1 (Belgien), Rue de Namur 80.
Osr	=	Osram GmbH, 1000 Berlin 10, Ernst-Reuter-Platz 8.
Phi	=	Deutsche Philips GmbH, 2000 Hamburg 1, Mönckebergstraße 7.
SEL	=	Standard Elektrik Lorenz AG, Geschäftsbereich Bauelemente, 7300 Esslingen, Fritz-Müller-Straße 112.
Tel	=	Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft AEG-Telefunken, 6000 Frankfurt/Main 70, AEG-Hochhaus.
Tun	=	Tungsram GmbH, 6000 Frankfurt/Main, Hohenstaufenstraße 8.
Val	=	Valvo GmbH, 2000 Hamburg 1, Burchardstraße 19.
WF	=	VEB Werk für Fernsehelektronik, x 116 Berlin-Oberschöneweide, Ostendstraße 1–5.

Sachverzeichnis

A

Ablesewiderstand 47, 174
Abreißspannung 22
Abschirmbecher 45, 136
Alphanumerische Anzeigeröhre 34
Amplitudenröhre 63
–, Ankopplung 88
Anlaufzeit 62
Anodenfall 20
Antiparallelschaltung von Stabilisatoren 60
Anzeigeröhre, Betriebsschaltungen 79
Arbeitsbereich 41
Aufbauzeit 18
Aufladernelder 99
Aufladezeit 92, 141
Außenelektroden 18, 78
Außensteuerelektrode 36, 109, 135
Aussteuerungskontrolle 88

B

Bausteine, Decoder-Treiber-B. 86
Bedeckungsmodulation 63
Begrenzungswiderstand 113
Berührungsschalter, kapazitiver 135
Betriebszustandanzeige 74
Bienenkorblampe 26, 73
Binärzähler 153
Biquinärdekade 182
– zähler 179, 181
Blinkschaltung 92, 98
–, batteriebetriebene 100
– mit Transistoren 99
Blitzfrequenz 101, 103
Bogenentladung 18, 66, 70
Braunfilter 35
Brennspannung 14, 21, 52
Brennspannungsdifferenz 98
– -Temperaturkoeffizient 62
Brennstrom 22, 52

D

Decodierschaltung 86
Deionisierungszeit 71
Dekadenring 157
– zähler 86
– zählröhren s. Zählröhren, dekadische
Dekadische Ringzählerschaltg. 151
Dezimalzähler 155
Diodenbegrenzer 161
Doppelimpuls 168
–, Erzeugung 170
Drehzahlmessung 103
Dreielektroden-Ableiter 68
Druckknopf, elektronischer 36, 135

E

Edelgassicherungen 67
Einbau-Druckknopf GKF 11 136
Einbauglimmlampen 29
Eingangsimpuls 47
Elektronen 7
– schalen 7
Elektronischer Druckknopf 36, 135
– –, Abschirmung 136
– –, Löschung 137
– –, Steuerkennlinien 136
Energieniveau 10
Entionisierungszeit 18
Entladefrequenz 71
– verzug 17
– zeit 93
Entladung 12
–, behinderte 19
–, diskontinuierliche 91
Entladungsbereich 40
– -Kennlinie 13

F

Farbfilterüberzug 35
Filter für Anzeigeröhren 35
Flammenmodulation 132
– wächter 128

Flip-Flop 181
Freilaufen 131
Freiwerdezeit 18
Fremdionisation 12
Frequenzteilerschaltung 97
– untersetzung 166, 170

G

Gastheorie, kinetische 9
Glimmableiter 66
– bedeckung 15, 23, 64
– brücke 108
– diode 36
– dioden-Relais 109
– gleichrichterröhre 69
Glimmlicht-Modulator 65
Glimmrelaisröhre 38
Glimmröhrengenerator 96
Glimmröhren-Stroboskop 101
Glimmröhrensymbole 44
Glimmsoffitte 27
– tetrode 44
– thyratron 46, 117
– triode 44
Grenzwertschalter, induktiver 140
–, kapazitiver 135

H

Hauptentladungsstrecke 38
Hauptkatoden 47
Helligkeitsmodulation 65
Hilfsentladungsstrecke 16, 46, 110
Hilfskatode 47
Hochfrequenzanzeige 78
– entladung 18
Hochspannungsanzeige 78
– anzeigeröhren 78
Hochstromröhren 71
Hohlkatode 19, 65, 69
Hybridbestückung 166

I

Impuls, Dekaden- 157, 182
Doppel- 168
Eingangs- 47
Zähl- 158, 160
Impulsformer 50, 157, 161, 170, 182
– frequenz 170
– geberschaltung 145
– spannung 48
– transformator 172
– verstärker 187
– zündung 113
Indikatorröhre 26
Intensitätsmodulation-Schaltungen 90
Intensitätssteuerung 65
Ankopplung bei – 90
Intervallspannung 126
Ion 8
Ionisierung 8, 71
Ionisierungsspannung 11
– zeit 18
Isolationsprüfung 77

K

Kaltkatoden-Relaisröhren 38
– -Thyratron 38
Kaskadenschaltung 59
Katodenarten 21
– fall 15, 52
Kennlinie, Übernahme- 39
Zünd- 40
Kernladungszahl 7
Kinetische Gastheorie 9
Kippamplitude 92
– frequenz 93
– generator, synchronisierter 97
– kapazität 43
– röhren 98
– schaltungen 91
– schwingungen 91
– –, synchronisierte 97
Kippspannung 92
– steuerung 43, 111
– zündung 43
Koinzidenzstufe 165
– vorwahl 164
Kondensatoraufladung 141
Konstanthaltung der Kondensator-Ladespannung 185
Kontaktschutzschaltung 117

Koppelstufe f. Biquinärzähler 162
– für Dekadenzähler 162
Kopplung, fotoelektrische 84, 123

L

Langlebensdauerröhre 35
Lebensdauererwartung 23, 35, 63
Leistungsschaltröhren 70, 179
Leuchtdichte-Spitzenwerte 65
Leuchtstoff-Signalglimmlampen 28
Lichtblitz-Stroboskop 101
Lichtbogenentladung 16, 66, 70
Lichtemission 10
Lichtmodulationsfrequenz 124
Lichttelefoniegerät 90
Löschschaltung 110
– spannung 22

M

Mehrstrecken-Stabilisatoren 57
Molybdänkatode 21, 46
Multivibrator, bistabiler 153, 181
–, monostabiler 50, 161
– -Treiberstufe 174

N

Nachtlicht 73
Neonorgel 105
Neutronen 7
Niveauregler 118
Nixie-Anzeigeröhren 32
Nullstellung s. Rückstellung

O

ODER-Funktionsglied 132
– -Schaltung 122
Oszillografie, Glimmlicht- 89

P

Parallelschaltung von Stabilisatoren 60
Polprüfröhren 26, 77
Protonen 7
Punktglimmröhren 65

Q

Quadranten 41, 42, 110
Querstrom 52, 60, 184
Quibinärzähler 179
– -Ziffernanzeigeröhre 33, 82

R

Regelbereich 52
Reinmetallkatode 21
Rekombination 11
Relais, Abfallverzögerung 115
–, elektromechanisches 114
Relaisröhren 36, 179
– schaltungen 108
– -Steuerschaltungen 111
Relaisverstärker, kontaktgesteuert 116
– mit induktiver Ansteuerung 139
– mit kapazitiver Ansteuerung 133
– mit Verbundröhre ESR 2 120
–, widerstandsgesteuerter 119
Relaisverstärker-Ansteuerung mit Fotodiode 127
– – mit Fotowiderstand 125
– – mit Fotozelle 124
– – mit Maximum-Minimum-Kontakt 117
– – mit NTC-Widerstand 118
– – mit UV-Zelle 130
Resonanzanzeiger 78
Ringzähler 156, 175
–, fünfstufiger 179
Rückstellimpuls 159
– schaltung 159, 168, 173
Rückstellung 122
– des Biquinärzählers 182
Rückstrom 69
Rückwärtsimpuls 160
– zähler 160
Ruhestrom 55

S

Sägezahnkurve 92
– oszillator 105
Schaltdioden 70

Schaltermarkierung 75
Schaltgeschwindigkeit 80
Schaltverstärker
s. Relaisverstärker
Schichtkatode 21, 46
Schlitzglimmröhren 85
Schmitt-Trigger 162, 172
Schutzschaltung von
Stabilisatoren 61
Schutzwiderstand 22
Schwebungssummer 108
Schwingungsanalyse 89
Serienschaltung von
Stabilisatoren 56
Sicherungsüberwachung 75
Signalblinker 31, 99
Signalglimmlampen 25
Signalkipper 99
Soffitten-Glimmröhren 27
Spannungsreferenzröhren 61
Spannungsstabilisierung
für Fotovervielfacher 184
Spannungsstabilisierungs-
röhren 51
Spannungssucherröhre 26
Sperrbereich 40, 43
Sperrschwinger 161, 172
Stabilisierungsbereich 62
– faktor 54
– grad 53
– kaskade 57
Starterelektrode 37
– spannung 43
– spitzenstrom 111, 113
– strecke 38
– vorspannung 112
– – Gewinnung der – – 114
– zündspannung 38, 111
– Zündwert 43
Steuerelektrode 37
– schaltung für
Reservierrotor 138
– spannung 80
Stromdurchgangsprüfung 77
Synchronisierfrequenz 97
– spannung 97, 105

T

Taktgeberschaltung 144
Teilerstufe 105
Temperaturregler 119
Termen, optische 11
Tongenerator 104
Townsendentladung 14
Trägerlawine 14
Transistor-Oszillator 140
Treiberschaltungen 85
Treppenbeleuchtungsautomat 152

U

Übernahmekennlinie 39
– spannung 39
– zone 40
Überspannungsableiter 66
Umschalthäufigkeit 35
UND-Funktionsglied 132, 155
– -Schaltung 122, 165
Untersetzerschaltung, binäre 76
U-R-C-Meßgerät 87
UV-Indikatoren 129

V

Valenzelektronen 8
Vervielfachung, Spannungs- 63
Verzögerungskondensator 142
– zeit 141, 142
Vierstrecken-
Stabilisatorröhre 58, 184
Voreinstellung 163
– ionisation 18, 38, 64, 109
– Rückwärtszähler 160, 168
Vorschaltwiderstand 22, 74, 80
Vorspannung 36, 80, 82
Vorstabilisierung 186
Vorwärtsimpulse 160
– zähler 160
– – für 100 kHz mit der EZ 10 B 172
– – für 10 kHz mit der EZ 10 B 172
Vorwahlschalter 163

W

Wandableiter (Wandkontakt) 45
– aufladung 45

Wechselspannungs-
Stabilisierung 60
Wechselstromwiderstand 23
–, differentieller 53, 62
Weidezaungerät 101
Widerstandsmatrix 179
Wiedervereinigungsleuchten 11
Wirkungsgrad 69

Z

Zählbereich 154
– frequenz 50, 160, 166, 170, 172
– geschwindigkeit 79
– impuls 47, 48, 154, 158, 160
– kapazität 159, 173
– kette 155
– richtung 48
– ring 156
– –, fünfstufiger 179
– schritte 155
– werk, elektro-
mechanisches 173, 177, 179
Zähler 86
– ablesung 154
– –, elektrische 174
– –, optische 174
–, biquinärer 179
– für 400 Hz mit der ZM 1070 166
Vor- und Rückwärts- 180
– vorwahl 183
Zählröhren,
dekadische 47, 158, 168, 175
Zählschaltung 153
– mit Dekadenzählröhre
ZM 1050 167
Zeichenanzeigeröhren 33
–, alphanumerische 34
Zeitgeberschaltung 144
– genauigkeit 148
– glied 145
– konstante 142
– markengeber 77, 90
– relais 145
– schalter für 3–360 s 185
– – mit Drucktastenwahl 150
Zeitverzögerungsschaltung 141, 144
– mit elektronischem
Druckknopf 150
–, stabilisierte 146
Ziffernanzeigeröhren 31, 175
Quibinär- 33
Weitwinkel- 33
Zifferanzeigeröhren-Ansteuerung
direkt mit der Z 572 S 176
– – mit Dekadenzählröhre 175
– – mit elektronischem Schalter 84
– – mit Relaisröhren 177
– – mit Thyristoren 176
– – mit Transistoren 84
– – mit Zählring 176
Ziffernhöhe 32
– ring 51
– skelett aus
Stabglimmröhren 179
Zirkular polarisierter Filter 35
Zünddioden 70
– elektrode 44, 109
– kennlinie 40
– kerzenprüfer 78
– spannung 14, 21, 65
– übernahme 39
– verzug 17
– vorspannung 80
– winkel 113

Fortsetzung von der zweiten Umschlagseite

71 **Bastelpraxis** Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl., 64 Seiten, 50 Bilder, 2 Tabellen.

72/73 **Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen** (Karl Schultheiss). 5. Aufl., 128 Seiten, 76 Bilder. *

74 **Einkreis-Empfänger** mit Röhren und Transistoren (H. Sutaner). 5. Aufl., 68 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen.

76 **Bastelpraxis** Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Werner W. Diefenbach). 6. Aufl. 76 Seiten, 93 Bilder, 11 Tabellen.

77/77a **Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt** (Ernst Nieder). 5. Aufl., 120 Seiten, 94 Bilder, 2 Tab.

78 **Schwebungssummer** (Herbert Lennartz). 3. Aufl., 64 S., 42 Bilder. *

79/79a **Bastelpraxis** Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Werner W. Diefenbach). 6. Auflage, 144 Seiten, 149 Bilder.

80/80b **Das Spulenbuch — Hochfrequenzspulen** (Hans Sutaner). 5. Aufl., 192 Seiten, 109 Bilder und Schaltungen, 16 Tabellen, 15 Nomogramme.

81/83 **Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik** (Kurt Leucht). 8. Aufl., 272 Seiten, 169 Bilder, viele Tabellen.

84 **Fernsehantennen-Praxis** (Herbert G. Mende). 9. Aufl., 68 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

85 **Hi-Fi-Schaltungs- und Baubuch** (Fritz Kühne). 7. Aufl., 64 Seiten, 33 Bilder, 3 Tabellen. *

86/87 **Berufskunde des Radio- und Fernsehtechnikers**. Vom Lehrling zum Meister (Dipl.-Ing. Georg Rose). 2. Aufl., 144 Seiten, 2 Tafeln.

89/90a **Autoempfänger.** Einbau, Antennen u. Funkentstörung (Eckhard-Heinz Manzkel. 2. Auflage, 192 Seiten, 149 Bilder, 16 Tabellen.

93/94 **Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung** (H. Bruß). 5. Aufl., 128 Seiten, 102 Bilder, 8 Tab.

95/96 **Fotozellen und ihre Anwendung** (L. Beitz und H. Hesselbach). 3. Aufl., 128 Seiten, 103 Bilder, 6 Tabellen.

97/98 **Kleines Stereo-Praktikum** (Ing. Fritz Kühne u. Karl Tetzner). 3. Aufl., 136 Seiten, 99 Bilder.

99 **Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen?** (H. Sutaner). 5. Aufl., 64 Seiten, 87 Bilder.

100 **Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker** (H. G. Mende). 2. Aufl., 96 Seiten, 40 Bilder, 50 Tabellen.

101/102 **Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau** (Dr. Reiner H. Böhm). 3. Aufl., 132 Seiten, 53 Bilder.

103 **Die Wobbelsender.** Aufgaben und Schaltungstechnik (H. Sutaner). 2. Aufl., 64 Seiten, 40 Bilder.

104 **Transistorsender für die Fernsteuerung** (H. Bruß). 3. Aufl., 68 Seiten, 51 Bilder, 4 Tafeln, 2 Nomogramme.

105/105a **Lautsprecher u. Lautsprechergehäuse für HiFi** (Dipl.-Ing. H. H. Klinger). 4. Aufl., 124 Seiten, 112 Bilder. *

106/107 **Netztransformatoren und Drosseln.** Berechnung und Bau (Dr.-Ing. Paul E. Klein). 2. Aufl., 128 Seiten, 55 Bilder, 56 Tabellen.

108 **Amateurfunk-Superhets.** Planung und Selbstbau (G. E. Gerzelka). 64 Seiten, 13 Bilder, 8 Tabellen.

109/110 **Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band.** Schaltungstechnik und praktischer Aufbau (J. Reithofer). 2. Aufl., 120 Seiten, 108 Bilder.

111/112 **Meßinstrumente und ihre Anwendung.** Kleine Meßkunde für Radio- u. Fernseh-Praktiker (W. M. Köhler). 2. Aufl., 128 S., 116 Bilder, 3 Tab.

113 **Elektronische Experimente** (G. Büscher). 2. Aufl., 68 S., 86 Bild., 2 Tab.

114 **Halbleiter-Experimente** (Dipl.-Phys. J. Kleemann). 64 Seiten, 52 Bilder, 20 Tabellen.

115/116 **Elektronische Schaltungen mit Fotozellen** (Wilhelm Hennig). 160 Seiten, 112 Schaltbilder, 6 Tabellen.

117/118 **Einseitenbandtechnik für den Funkamateur** (Friedhelm Hillebrand). 148 Seiten, 118 Bilder, 12 Tabellen.

119/120 **Gedruckte Schaltungen** (Hans Sutaner). 128 Seiten, 49 Bilder, 2 Tabellen.

121/123 **Bastelpraxis** Band IV. Transistorpraxis (Werner W. Diefenbach). 160 Seiten, 125 Bilder, 16 Tabellen.

124/125 **Technische Akustik** (H. H. Klinger). 120 Seiten, 75 Bilder, 17 Tabellen.

126/127 **Betriebstechnik des Amateurfunks** (Hans-Joachim Henske). 128 Seiten, 27 Bilder, 5 Tabellen.

128/130 **Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren** (Hans Sutaner). 160 Seiten, 125 Bilder.

131/133 **Elektronische Grundschaltungen** (Hans Schweigert). 1. Aufl., 208 Seiten, 165 Bilder, 4 Tabellen.

134/135 **Kleines Halbleiter-ABC** (Gustav Büscher). 112 S., 100 Bilder, 18 Tab.

137/140 **Farbfernsehen** (Dr.-Ing. Klaus Weiland). 2. Aufl., 52 Seiten Großformat, 46 Bilder.

141/142 **Dipmeter mit Röhren, Transistoren und Tunneldioden** (J. Reithofer). 128 Seiten, 92 Bilder.

143/144 **Stereo-Decoder,** Funktion und Schaltungstechnik (Ludwig Ratheiser). 136 Seiten, 48 Bilder. *

* In Vorbereitung.

HERRNKIND, OTTO PAUL

Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren

ihr Aufbau und ihre Schaltungen 5. Auflage

28/28b

Dreifach-Band

Die Glimmröhre, vor nicht zu langer Zeit noch ein bescheidenes Dasein führend, ist eines der wichtigsten aktiven Bauelemente der elektronischen Technik geworden. Das Buch gibt eine ausführliche Darstellung der Glimmentladung (als der physikalischen Grundlage der Glimmröhren), der Glimmröhren-Arten und der praktischen Anwendung der Glimmröhren. Dieser Hauptabschnitt enthält zahlreiche Schaltungen unter Erörterung ihrer Funktion und Angabe der Größen der Schaltelemente, so daß sie von dem experimentierfreudigen Leser ohne Schwierigkeiten in die Praxis umgesetzt werden können.

O. P. Herrnkind wurde in Halle an der Saale geboren. Er kam frühzeitig als Telefonist und Funker mit der Nachrichtentechnik in Berührung. Noch während des Physikstudiums wählte er den Beruf eines freien Journalisten und Fachredakteurs, den er jetzt seit mehr als 45 Jahren ausübt, unterbrochen durch eine Dozenten-Tätigkeit für Elektrotechnik, Tonfrequenztechnik und Lichttechnik an der Deutschen Filmakademie. Seit 1945 ist O. P. Herrnkind wieder als technischer Fachschriftsteller tätig, und er beschäftigt sich darüber hinaus in seinem Labor mit industriellen Entwicklungsaufgaben. Zu seinen Hauptarbeitsgebieten gehören die Röhren- und die Halbleitertechnik.

RADIO-PRAKTIKER BÜCHEREI